This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

TA418.42
H23
1964
ENG

ENG
TA418.42
H83
1864
TIMOSHENKO
COLL.

ACADÉMIE DE STRASBOURG

FACULTÉ DES SCIENCES

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR

LA DURETÉ DES CORPS

ET SPÉCIALEMENT

SUR CELLE DES MÉTAUX ET DES ALLIAGES

THÈSE DE PHYSIQUE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE STRASBOURG

Soutenue le 31 Décembre 1864 à 2 heures

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES

PAR

M. F. HUGUENY

PROFESSEUR DE PHYSIQUE AU LYCÉE IMPÉRIAL DE STRASBOURG

STRASBOURG

IMPRIMERIE DE VEUVE BERGER-LEVRAULT

1864

FACULTÉ DES SCIENCES DE STRASBOURG.

MM. LEREBOULLET ✻, Doyen, Professeur de zoologie et de physiologie animale.
FINCK ✻, Professeur de mathématiques appliquées.
BERTIN ✻, Professeur de physique.
LIÈS-BODARD ✻, Professeur de chimie.
BACH ✻, Professeur de mathématiques pures.
SCHIMPER ✻, Professeur de minéralogie et de géologie.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE.

MM. BERTIN ✻, Président.
FINCK ✻.
LIÈS-BODARD ✻.

AVANT-PROPOS.

La plupart des propriétés physiques des corps ne peuvent être définies avec rigueur, qu'autant qu'il est possible de les exprimer numériquement, et de les rapporter à une valeur de même nature prise pour unité; le plus grand nombre d'entre elles a été déterminé avec soin.

Il en existe toutefois encore quelques-unes dont le sens est vague ou incertain, que pour ce motif même on ne peut traduire en nombres, et parmi elles on peut citer la *dureté*.

Cette propriété se rattache à l'élasticité des corps, et cette dépendance explique l'abandon presque complet où son étude est restée.

Il existe, en effet, dans la question, des difficultés spéciales qui faisaient dire à Muschenbroek, après s'être longtemps occupé de recherches sur la cohésion, que la détermination de la dureté était un des problèmes insolubles de la science.

Mais, si la solution d'un problème est impossible à une certaine époque, parce que les éléments qui s'y rapportent sont encore inconnus ou incomplétement appréciés, et parce que la construction des instruments n'y présente pas une précision suffisante, rien n'autorise à conclure qu'elle n'arrivera pas à maturité avec le temps.

Le moment est-il venu, je ne dis pas de résoudre toutes les questions relatives à la dureté, mais de tenter utilement quelques essais dans cette voie? Je l'ai pensé, et par

suite, j'ai cherché à introduire dans la science une notion claire, précise de la dureté, à donner une marche pour la déterminer, et des valeurs provisoires qui représentent les rapports de dureté des métaux usuels et de leurs principaux alliages.

Je m'estimerai heureux si on accorde à cette question l'attention qu'elle me paraît mériter, et je serai loin de me plaindre si, en améliorant les procédés que je propose, ou même en en adoptant de nouveaux, on parvient à des valeurs plus exactes que celles qui résultent de mes propres essais.

Si l'amour-propre des auteurs est compromis par ces améliorations successives, la science a tout à gagner au perfectionnement des méthodes, à la plus grande habileté des expérimentateurs, et c'est là l'essentiel.

Plusieurs de nos savants les plus éminents n'ont pas craint de reprendre les recherches de leurs prédécesseurs, et les ont, en quelque sorte, rendues nouvelles par les additions nombreuses et importantes qu'ils y ont apportées, et par le degré de précision qu'ils ont atteint.

J'ignore si ce travail aura cette fortune, mais je n'hésite pas à déclarer que dans l'état d'imperfection où il est, je ne l'aurais point encore publié si des circonstances particulières ne m'y avaient déterminé.

En finissant, je dois remercier mes constructeurs, MM. Schmidt et Beck, dont j'exerce, sans les lasser, le zèle intelligent et la patience depuis fort longtemps; et trois de mes anciens élèves, MM. Cornille, Ch. Gerhardt et F. Gross, qui m'ont prêté leur concours pour les expériences ou le dessin des appareils.

BIBLIOGRAPHIE

RELATIVE A LA DURETÉ.

HUYGHENS. *Traité de la lumière*; 1690, p. 95.

— ou *Opera reliqua*, 1728. *Tract. de lumine*, p. 70.

VAN MUSCHENBROEK. *Physicæ experimentales et geometricæ dissertationes. Introductio ad cohærentiam corporum firmorum.* Chapitre 10 : *Tentamen de corporum duritie*; 1729 et 1756.

ROMÉ DE LISLE. *Des caractères extérieurs des minéraux*: 1784.

— *Cristallographie*; 1783.

WERNER. *Principes de minéralogie*; 1795. (Trad. franç.)

HAÜY. *Traité de minéralogie*; 1801.

WOLLASTON. *Philosophical Transactions*; 1816, tome 14.

BABBAGE. *Traité sur l'économie des machines et des manufactures*; 1829.

F. MOHS. *Grundriss der Mineralogie*; 1822.

FRANKENHEIM. *De crystallorum cohæsione*; 1829.

— *Die Lehre von der Cohäsion*; 1835.

SEEBECK. *Ueber Härteprüfung an Krystallen*; 1833.

FRANZ. *De lapidum duritate eamque metiendi novâ methodo*; 1850.

VICAT. *Voyez* SALLERON. *Notice sur les instruments de précision*; 1861.

GRACE-CALVERT et RICHARD JOHNSON. *Mémoires de Manchester* 2e série, 15e volume; 1858.

Expériences sur la dureté des métaux. Paris, Corréard, 1861.

C. L. MÜNTZ. *Étude de l'influence exercée sur la durée des rails par la forme du profil, et principalement par celle de la surface d'adhérence*. (Broch. autogr.) 1861.

DELAFOSSE. *Traité de minéralogie*, 1858; Roret, tome 1er.

CH. LABOULAYE. *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*; 1861.

FRANZ VON KOBELL. *Geschichte der Mineralogie von 1650 bis 1860*. Cottasche Buchhandlung, 1864.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LA DURETÉ DES CORPS

CHAPITRE Ier

Introduction historique.

On a donné, jusqu'à présent, le nom de dureté à la propriété qu'a la matière de résister plus ou moins au déplacement permanent de ses molécules superficielles, essayé à l'aide d'une lame tranchante, d'une pointe ou de l'angle solide d'un cristal. Il va sans dire que de cette propriété dépend la résistance qu'un corps oppose à l'action de la lime, et que, d'après cette résistance, il est possible, quand la différence en est bien marquée, de dire qu'un corps est plus ou moins dur qu'un autre corps.

En analysant avec quelque soin le fait qui répond à cette définition, on s'assurera sans peine que la dureté est en relation avec l'élasticité des corps. Elle dépend surtout de la limite d'élasticité; nous ignorons encore comment, parce que nous ne l'avons pas mesurée.

Je me propose de passer en revue[1] les observations originales faites sur la dureté, et les essais qui ont eu pour but d'établir quelques rapprochements entre les divers corps à ce

1. Je ne sache pas qu'on ait publié, soit en France, soit à l'étranger, l'histoire des tentatives faites pour trouver la dureté des corps; j'ai cru que l'importance du sujet justifierait les développements dans lesquels je vais entrer.

point de vue, et même entre les diverses surfaces d'un même corps, — et après avoir exposé les travaux qui ont été tentés dans cette direction, je dirai comment je définis et comment je détermine la dureté des corps.

Huyghens, dans son *Traité de la lumière*[1], en s'appuyant sur certaines conceptions hypothétiques analogues à celles proposées par Haüy, dans son *Traité de cristallographie*, cherche, par une forme et un arrangement particuliers des molécules, à expliquer la formation des plans de clivage que donne le spath d'Islande, et il ajoute pour appuyer l'hypothèse qu'il admet: « que si on passe un couteau en raclant sur « quelqu'une de ses surfaces naturelles, et que ce soit en des- « cendant de l'angle obtus équilatéral, c'est-à-dire de la pointe « de la pyramide, on le trouve fort dur; mais en raclant du « sens contraire on l'entame aisément. »

Voilà la dureté définie par la résistance offerte par un cristal de spath d'Islande à être entamé ou rayé par une lame de couteau, et ce fait très-important observé pour la première fois, si je ne me trompe, qu'à la surface d'un cristal, la dureté peut être différente, selon le sens dans lequel on vient à agir sur lui.

Pour suivre l'ordre chronologique, je dois parler ici du premier travail sérieux que l'on ait entrepris sur la dureté, et je le fais d'autant plus volontiers qu'il est un premier essai de détermination numérique peu connu, et qui mérite de l'être cependant. Muschenbroek a publié, en 1729, une suite de Mémoires (*Physicæ experimentales et geometricæ dissertationes*)[2] parmi lesquels s'en trouve un intitulé: *Introductio ad cohærentiam corporum firmorum.* C'est le chapitre X de ce volumineux travail qui est consacré à la dureté sous ce titre modeste: *Tentamen de corporum duritie.*

---

1. Leyde, Van der Aa, 1690, p. 95; ou *Opera reliqua.* Amsterd., 1728, t. Ier, p. 70.

2. Lugduni Batavorum, apud Samuelem Lachtmans, 1729. 1 vol. in-4°, p. 668-672.

Muschenbroek, après avoir fait remarquer que la question est complétement neuve, ajoute que ce qui frappe au premier abord celui qui l'étudie avec attention, c'est qu'elle offre continuellement les difficultés les plus graves et les plus *insurmontables;* aussi n'a-t-il voulu tenter qu'un essai. L'auteur appelle *durs* les corps dont les parties ont assez de cohérence pour ne pouvoir être séparées les unes des autres que par des forces *très-grandes;* les corps *mous* sont ceux qui cèdent à des forces *assez faibles.*

Ayant adopté diverses méthodes, et les ayant successivement rejetées, il s'est arrêté à la suivante, sujette à beaucoup de difficultés, en faisant remarquer, avec bonne foi, que si elle ne satisfait pas les savants, elle ne le satisfait pas davantage; il l'accepte, faute de mieux, jusqu'à ce que la dureté puisse être déterminée avec plus de précision[1].

Ayant préparé de petits parallélipipèdes droits, à base carrée, dont le côté était de 0.15 pouce (4 millim.), il les coupait transversalement avec le même coin, en employant les coups d'un marteau tombant sur le coin un nombre suffisant de fois pour que le corps soumis à l'expérience fût complétement divisé dans son épaisseur; le nombre de coups employés servait, comme on va le dire, de mesure à la dureté. — L'auteur remarque que plusieurs corps, de poids spécifiques différents, étant donnés, comme ils ne renferment pas la même quantité de matière sous le même volume, et que les parallélipipèdes coupés ont mêmes dimensions, ce n'est pas une même quantité de matière qui est divisée; elle est plus grande pour les corps plus denses, moindre pour les autres; en conséquence le nombre de coups portés sur le coin ne peut représenter la dureté qu'à la condition de le diviser par le poids spécifique de la matière

1. Muschenbroek paraît avoir eu pour but la comparaison des bois; car c'est surtout la recherche de leur dureté qui l'a occupé. Il a cependant appliqué, comme on le verra, sa méthode à quelques métaux.

qui l'a fourni. — Ce sont ces quotients qu'on trouvera dans la table qui va suivre, et ce sont eux qui, selon Muschenbroek, doivent mesurer la dureté des corps.

La difficulté principale, en admettant cette manière de définir la dureté, consistait à rendre constants les chocs du corps destiné à frapper le coin.

Voici la disposition qui fut employée (Planche I, fig. 1): A l'extrémité d'un fil KA, était suspendue une boule d'ivoire A, qui était élevée continuellement jusqu'à la règle fixe B, d'où abandonnée, elle tombait avec la même vitesse, et de manière à frapper toujours le coin CD avec la même force; en G se trouvait un parallélipipède de 100 livres, en plomb, qui était dénué d'élasticité par sa nature même, et qui restait immobile en raison de sa masse; EF représente le parallélipipède qui devait être coupé transversalement; CD est un coin en fer dont le tranchant avait été rendu d'abord très-aigu, et dont les faces inclinées avaient été aplanies et polies[1]; ce coin était soutenu par la main, de manière à ne pouvoir changer de direction pendant le choc; il s'appuyait d'ailleurs sur un plan par sa partie inférieure, et était toujours frappé de la même façon par la boule A. — Lorsque Muschenbroek s'apercevait qu'après un nombre entier de coups, il n'était plus nécessaire d'en employer un semblable aux précédents, pour terminer la scission, la boule A était élevée à une hauteur plus faible que la hauteur primitive; c'est de là que proviennent les décimales qu'on remarquera dans la table suivante.

Il arriva deux fois que le tranchant dût être aiguisé, ce qui ne pût avoir lieu sans le modifier un peu, et empêcha les derniers essais de s'accorder parfaitement avec les premiers. Voici les résultats obtenus[2]:

---

1. L'angle dièdre du coin n'est pas indiqué en nombres dans le mémoire
2. Ce passage est traduit presque textuellement du mémoire de Muschenbroek.

NOMS DES BOIS ET DES MÉTAUX.	NOMBRE DE COUPS.	POIDS SPÉCIFIQUES.	DURETÉS.
	BOIS.		
Bois de sapin	10.625	0.550	12.145 [1]
Aune	10.121	0.558	17.212
Buis	42	1.031	40.737
Cerisier	9.876	0.623	15.852
Cerisier noir	10.548	0.653	16.153
Ébène	15.612	1.177	13.264
Hêtre	13.596	0.854	15.920
Frêne	18.750	0.840	22.321
Grenadier (Granadille)	30.224	1.313	23.019
Gayac	64.843	1.333	48.644
Noyer	20	0.631	31.695
Olivier	52	1.482	35.695
Picea	10.234	0.525	19.493
Picea (Gryne)	11.882	0.536	22.167
Poirier	11	0.746	15.745
Pommier	11.55	0.781	14.788
Prunier	18.529	0.663	27.947
Cèdre (Oxyacanthæ)	17	0.765	23.533
Paarde Vlys [2]	92	2.695	34.13
Noyer	25.323	0.929	27.258
Sakkerdane [3]	19	0.867	21.914
Santal rouge	17.289	1.128	15.327
Suykerkiste [4]	35.769	1.051	29.401
Tilleul	7.065	0.639	11.057
Orme	17.293	0.600	28.821
	MÉTAUX.		
Plomb	27	11.325	2.304
Étain	35	7.471	4.550
Argent hollandais de peu de valeur	171	10.340	16.536
Or de ducat	240	18.261	13.142
Cuivre rouge	99	8.784	11.278
Laiton	312	8	39
Fer de Suède	616	7.645	80.575
Eau ordinaire	»	1	»

1. L'un de ces trois nombres est inexact.
2 et 4. J'ignore le sens de ces deux mots.
3. Bois de sacredan (Indes).

Après avoir donné ce tableau, Muschenbroek ajoute que, si on se proposait d'étudier des corps aussi durs ou plus durs que l'acier, il faudrait employer un coin d'une autre matière; il doute que les corps très-fragiles, comme le verre et les corps analogues, pussent être étudiés par cette méthode, parce qu'ils se divisent en plusieurs fragments lorsque le coin est poussé contre eux avec une certaine force, et il engage les physiciens à chercher une méthode plus générale et plus précise que celle qu'il a essayée.

Je ferai au sujet de ces expériences, qui ont été le point de départ de travaux que je signalerai plus loin, une double remarque: la première est relative à la définition même de la dureté; la seconde concerne le mode d'expérimentation. — Sans doute quand on définit une propriété nouvelle des corps, on a la faculté de la formuler selon l'idée qu'on s'en fait; et la définition doit, s'il est possible, aboutir à une détermination numérique de la propriété. — Sous ce rapport, je n'aurais aucune critique à adresser à la définition de Muschenbroek, si je ne pensais que, lorsqu'on définit une propriété, il importe de voir si elle n'est pas en relation avec d'autres propriétés susceptibles de mesure; et s'il en est ainsi, il faudra, si je ne m'abuse, se placer dans des conditions telles que l'on puisse espérer voir établir ultérieurement, dans la science, les relations qui existent entre la propriété nouvellement définie et les propriétés anciennement connues. Dans ce but, la définition devra se réduire à ses termes les plus simples, et je ne pense pas que la définition de Muschenbroek réalise cette simplicité.

J'ai dit, en commençant cette étude, que la dureté des corps, telle qu'elle résulte des diverses définitions qui en ont été données, dépend de la limite d'élasticité; je puis ajouter que l'importance des corps employés dans l'industrie dépend beaucoup de la distance comprise entre ce coefficient et la résistance à la rupture. — Or la définition qui me paraît devoir

être préférée est celle qui permettra le mieux d'établir, à l'aide du calcul, la relation qui doit exister entre la dureté et le premier de ces coefficients, sauf à déterminer, par d'autres expériences, les résistances à la rupture des différents corps.

Envisagées de cette façon, les modifications permanentes de forme subies par des portions très-limitées de la surface des corps ne sont plus qu'un mode particulier de leur limite d'élasticité, et si on a jugé à propos d'en faire une propriété spéciale, c'est en raison des circonstances très-fréquentes où, dans l'industrie, les corps sont ainsi modifiés. — Le fait apparent, complexe, a reçu le nom de *dureté;* les faits simples, qui ne se présentent presque jamais à l'observateur, si ce n'est dans le cas de l'expérimentation, sont les phénomènes où la limite d'élasticité d'un fil est dépassée, où ce fil se rompt. — Il n'est donc pas surprenant que l'on ait, sans s'en bien rendre compte d'ailleurs, insisté sur le fait complexe qui se présente constamment, et qu'on ait cherché à le caractériser par un mot, sauf à définir ce mot plus ou moins exactement.

Après avoir posé ainsi nettement la dépendance qui existe entre la dureté d'une part, et l'élasticité de l'autre, je dois faire ici une remarque, qui a, je crois, quelque importance. S'il est vrai que la dureté n'est pas une propriété qu'on puisse appeler nouvelle, puisqu'elle dépend d'une propriété plus nettement définie, il est non moins incontestable que, dans un très-grand nombre de cas, on pourrait dire dans le plus grand nombre, les limites d'élasticité des corps sont inconnues; ne serait-il pas possible d'arriver à les déterminer par des expériences sur la dureté ?

On conçoit que la question ainsi posée donne, en se plaçant au point de vue théorique, un véritable intérêt aux recherches sur la dureté, sans parler du point de vue pratique qui a une utilité que l'on ne songe point à contester.

Après ces observations, qu'il sera superflu de répéter ultérieurement, je passe à l'examen du procédé d'expérimentation.

Je dois faire remarquer d'abord que, si, comme il est probable, pour bon nombre de corps, il y a des variations de la dureté avec la profondeur, la méthode de Muschenbroek ne les mettra pas en évidence, et quant à l'expérience elle-même, il n'est pas certain que la balle frappe toujours la tête du coin identiquement de la même façon; de plus, ces chocs répétés doivent donner lieu à une élévation de température différente pour chaque corps, en raison de sa nature, et aussi en raison du nombre des chocs; or, ces élévations de température doivent influer inégalement sur la dureté du corps. Je remarque, en outre, que pour les bois qui font l'objet principal du travail de Muschenbroek, il n'indique ni l'âge des bois employés, ni le point du tronc où le bois a été débité; ni la direction, par rapport à l'axe du tronc, de la surface des parallélipipèdes coupés par le coin, ni le temps écoulé depuis que l'arbre a été abattu. — Or, il est certain que ces diverses circonstances, entre autres, doivent influer sur la dureté des bois; pour chacun d'eux, il doit y avoir des limites assez étendues entre lesquelles la dureté pourra varier, alors même que chaque bois aura atteint la limite d'âge que l'usage aura fait reconnaître comme la plus favorable à son emploi dans l'industrie. — J'ai insisté sur la définition de la dureté et le mode d'expérience proposés par Muschenbroek, parce que cet essai est le premier dans cette voie et que, comme on le verra, ses successeurs n'ont pas été beaucoup plus heureux que lui.

Romé de Lisle a fait jouer, dans son mémoire sur les *Caractères extérieurs des minéraux*[1] et dans sa *Cristallographie*[2], un rôle assez important à la dureté qu'il définit « la résistance que les corps opposent à la division mécanique de leurs molécules intégrantes ». — Mais je n'ai trouvé dans aucun de ces

1. Paris, Didot. 1784.

2. Paris, imprimerie de Monsieur. 1783.

deux ouvrages de méthode pour la détermination de la dureté, quoiqu'on lise[1] dans le premier: « Si, à ces différences tirées « de la gravité spécifique, nous joignons celles qui résultent « de la dureté comparée de ces substances pierreuses, nous « trouverons que celle du diamant, la plus dure de toutes « les pierres, étant supposée 20, celle du rubis spinelle est « comme 15, tandis que celle du spath fluor ne s'élève point « au delà de 7; » et dans le second[2]: « Le fer est le plus dur « des métaux, puis le platine, le cuivre, l'argent, l'or, l'étain « et le plomb. »

J'ignore, je le répète, comment ces nombres et ces indications ont été obtenus, et je ne crois pas devoir m'arrêter à la discussion des causes de la dureté que donne l'auteur.

Werner a divisé, dans ses *Principes de minéralogie*[3], les corps en quatre groupes relativement à la dureté:

a. *Dur.* — Donnant des étincelles avec le briquet.

1° Résistant à la lime: le diamant, le rubis, l'émeraude, l'émeril.

2° Cédant un peu à la lime: la topaze, le cristal de roche, l'améthyste.

3° Cédant à la lime: mine de cuivre blanche, cristaux d'étain, pyrite arsenicale, feldspath.

b. *Demi-dur.* — Cédant à la lime ou au couteau, mais ne donnant plus d'étincelles au briquet.

Le fahlerz, mine de fer spathique, basalte, pierre calcaire, pechstein.

c. *Tendre.* — Facilement rayé par le couteau, sans l'être par l'ongle.

Mine d'argent vitreuse, spath pesant, succin, mica, asbeste, serpentine.

1. Page 19.

2. Tome III, page 6, note 6.

3. *Principes de minéralogie, ou Exposition succincte des caractères extérieurs des fossiles*, d'après les leçons du professeur Werner; par J. B. Berchem-Bertout et H. Struve. Paris, an III de la République, p. 59.

d. *Très-tendre.* — **Rayé par l'ongle.**

Gypse, argile durcie, cinabre, soufre natif, talc, graphite, craie, lithomarge.

Haüy a été plus explicite dans son *Traité de minéralogie*[1].

On me permettra de citer intégralement le passage où il parle de la dureté :

Cohésion.

« Cette qualité dépend de la force avec laquelle les molé-« cules du corps que l'on éprouve adhèrent les unes aux autres.

« Le caractère qui en résulte peut se manifester de plusieurs « manières que nous allons exposer successivement.

a. Cas où le corps résiste au changement de figure.

« Les molécules des corps qui sont compris dans ce cas « continuent d'adhérer entre elles et conservent leur arrange-« ment respectif, jusqu'à ce que leurs contacts se quittent, en « cédant à la force qui agit sur elles. La résistance que le corps « oppose à cette dernière force se nomme dureté. On peut « éprouver la dureté de deux manières :

« 1° *Par le frottement.* — On emploie ce moyen, soit en « faisant passer une lime sur les parties anguleuses d'un corps, « soit en essayant de rayer la surface de ce corps avec la pointe « d'une lame d'acier, ou d'en entamer les bords avec le tran-« chant de la lame.

« Une autre manière d'employer le frottement consiste à « faire passer les parties anguleuses d'un minéral sur la sur-« face d'un autre en appuyant le plus qu'il est possible. On « peut diviser les corps relativement à ce genre d'épreuves en « quatre sections. La première est composée de ceux qui, « comme le coryndon, rayent le quartz; la seconde, de ceux « qui sont seulement assez durs pour rayer le verre blanc ; la « troisième, de ceux dont la dureté ne leur permet que de

1. Paris, Bachelier et Huzard. 1822. 2e édit., t. I, p. 136.

« rayer la chaux carbonatée, telle est la chaux fluatée; la qua-
« trième, de ceux qui ne rayent pas même la chaux carbonatée,
« telle est la chaux sulfatée.

« 2° *Par la percussion.* — Les minéralogistes emploient
« souvent celle du briquet, pour juger si le corps est du
« nombre de ceux qui, dans ce cas, donnent des étincelles,
« ou de ceux qui, étant moins durs, n'en laissent point aper-
« cevoir. (La force de percussion qui fait naître l'étincelle,
« étant proportionnelle, en partie, à la masse du corps cho-
« quant, le choix du briquet détermine dans la partie moyenne
« de la série des minéraux, considérés sous le rapport de la
« dureté, une limite, passé laquelle, le caractère devient né-
« gatif.) Parmi les premiers se trouvent le coryndon, le quartz,
« la topaze, le feldspath, etc., et parmi les seconds, la chaux
« phosphatée, la chaux fluatée, le mésotype, etc. On se sert
« aussi de la percussion, par exemple de celle du marteau,
« pour juger si un corps est difficile à briser, comme la va-
« riété de coryndon qu'on appelle *émeril*, ou fragile comme la
« chaux carbonatée, ou friable, c'est-à-dire susceptible de
« s'égrener par un choc léger, comme la variété granulaire de
« baryte sulfatée que l'on trouve en Piémont. La simple pres-
« sion du doigt suffit même pour rompre l'adhérence des grains
« dont elle est composée.

« J'observerai ici qu'il ne faut pas confondre les corps fra-
« giles avec les corps tendres. Les premiers se prêtent plus
« aisément à l'effet de la percussion pour les briser, et les se-
« conds se laissent plus aisément entamer par un instrument qui
« agit sur eux pour les rayer ou pour les gratter. Par exemple,
« la baryte sulfatée est plus fragile que le mica; mais celui-ci
« est plus tendre puisqu'il se laisse rayer par elle. »

J'ai reproduit ce passage remarquable parce qu'on y trouve l'idée de comparer les duretés des cristaux en les rayant les uns par les autres et son emploi comme moyen de classification.

Wollaston a inséré dans les *Transactions philosophiques* de

la Société Royale[1] un mémoire fort intéressant sur l'emploi qu'on fait du diamant pour couper le verre[2].

Après avoir fait remarquer qu'on n'avait point, jusque-là, cherché les conditions qui doivent être remplies pour obtenir ce résultat, il distingue entre *rayer* et *couper*.

Dans le premier cas, la surface du verre est irrégulièrement brisée et laisse voir un sillon à bords dentelés.

Dans le second cas, le diamant forme une fissure unie, une fêlure superficielle qui se continue, sans interruption, d'un bout à l'autre de la ligne selon laquelle le verre doit être coupé. — Sous l'influence d'une force assez légère, le verre se brise alors suivant la direction qu'on a suivie; — la dureté particulière du diamant lui conserve la propriété de couper le verre pendant fort longtemps.

Les diamants montés par les vitriers sont des fragments de diamants naturels, auxquels on donne le nom de *sparks* (étincelles)[3]. Après avoir essayé de s'en servir, mais sans obtenir de résultats satisfaisants, Wollaston eut l'idée de placer le diamant sur un châssis et de le déplacer successivement, jusqu'à obtenir la position qui convenait à couper le verre.

Il constata alors que la ligne selon laquelle le verre doit être divisé, est tangente à l'arête curviligne du diamant et que le plan bissecteur de l'angle dièdre terminé par cette arête est normal à la surface du verre.

Ce sont les deux conditions qui doivent être remplies pour que le verre soit régulièrement coupé.

Ces conditions ne permettent de variations dans la position du diamant, que dans des limites très-restreintes: 1° parce que

---

1. *Philosophical Transactions*, XIV. 1816.

2. Je ne crois pas sortir de mon sujet en exposant le résultat de ces observations, quoiqu'il n'y soit point question de la mesure de la dureté.

3. Ces diamants présentent cette particularité que leurs surfaces sont courbes, et par conséquent deux surfaces adjacentes se coupent suivant une arête curviligne.

l'arête curviligne est peu étendue; 2° parce que, si les angles des faces du diamant avec la surface du verre sont inégaux, la fissure, au lieu de se faire normalement à la surface, sera inclinée, et la séparation du verre aura lieu par une surface, qui, au lieu d'être normale, sera plus ou moins oblique aux surfaces de la lame de verre; — dans ce cas le verre se gercera, et sa taille pourra être complétement manquée.

Les observations de Wollaston lui ont montré qu'il n'était pas nécessaire que la profondeur de la fissure dépassât 0.005 pouce (0.13 millimètre environ).

La forme de l'arête tranchante paraissant, d'après les essais précédents, être la cause principale dont dépend la faculté de couper, Wollaston supposa que d'autres pierres, ayant une dureté convenable, pourraient produire le même effet, si on leur donnait une arête curviligne.

Il trouva, en effet, que, dans ces circonstances, le saphir, le rubis, le rubis spinelle, le cristal de roche et quelques autres cristaux pouvaient produire une ligne nette et couper le verre. Toutefois, quoique le rubis fût assez dur pour qu'il fût difficile de lui donner la forme convenable, son arête ne dura pas aussi longtemps que le promettait sa dureté. — Wollaston ajoute, et c'est surtout ce résultat de ses recherches qui mérite d'être noté, qu'il est très-probable que la solidité singulière de l'arête du diamant employé pour couper le verre est due, en quelque sorte, à cette circonstance que sa dureté, selon la direction de l'angle naturel de son cristal, est plus grande que dans toute autre direction, ainsi que cela est le cas pour d'autres cristaux, dont on pourra plus facilement examiner les degrés de dureté dans différentes directions.

A l'appui de cette observation de Wollaston, je citerai un fait extrêmement curieux rapporté par Babbage dans son *Traité sur l'économie des machines et des manufactures*[1]. — Après

1. Babbage. *Traité sur l'économie des machines et des manufactures.* Trad. de l'angl. sur la 3e édit., par Ed. Biot. Paris, Bachelier. 1833, p. 13 et 14.

avoir indiqué la manière de construire les diamants de vitrier, l'auteur fait la remarque suivante : « C'est un fait singulier que « cette dureté relative du diamant, suivant ses diverses incli- « naisons. Un ouvrier expérimenté, dans le jugement duquel « j'ai beaucoup de confiance, m'a rapporté qu'il avait vu aigui- « ser un diamant pendant trois heures avec de la poudre de « diamant et sur une meule en fonte, sans qu'on lui fît éprou- « ver la moindre altération, tandis que ce même diamant, une « fois son plan d'inclinaison changé, par rapport à la surface « aiguisante, eut son arête affilée très-rapidement. »

J'arrive aux recherches de Mohs sur la dureté, et à l'échelle que le savant minéralogiste allemand a proposée et qui a été généralement adoptée.

Mohs consacre dans ses *Éléments de minéralogie*[1] un paragraphe fort important à la *dureté* qu'il définit: la résistance qu'opposent les minéraux à la séparation de leurs parties; il appelle *degré de la dureté* la grandeur de cette résistance, et fait remarquer, qu'à défaut d'une mesure exacte, il a cherché à comparer les duretés des minéraux avec la précision et la sûreté qu'exige l'étude du règne minéral.

On se convainc facilement de la différence de dureté de deux minéraux, en cherchant à les rayer l'un par l'autre, et on dira, en général, qu'un minéral qui en raye un autre, et qui n'est pas rayé par lui, est le plus dur des deux.

En choisissant donc un nombre convenable de minéraux dont chacun raye le suivant sans en être rayé, et en parcourant d'ailleurs tous les degrés de la dureté, en espaçant, aussi judicieusement que faire se pourra, les types qu'on aura choisis, on formera une échelle qui pourra être d'une grande utilité à la minéralogie.

L'échelle proposée par Mohs se compose des dix termes suivants :

---

1. Mohs, *Grundriss der Mineralogie*. Dresde, Arnold. 1822, 1re part., p. 374.

1° Le talc lamelleux, connu sous le nom de talc de Venise.

2° Le sulfate de chaux prismatoïde; une variété imparfaitement divisible, et incomplétement transparente; les variétés parfaitement transparentes et cristallisées sont ordinairement trop tendres. On peut substituer le sel gemme hexaédrique à cette variété de gypse, ou du moins, l'employer pour choisir une variété convenable du premier.

3° Le spath calcaire rhomboédrique; une variété divisible.

4° Le spath fluor octaédrique; une variété divisible.

5° La chaux phosphatée rhomboédrique; la variété des environs de Salzbourg, qu'on nomme *apatite;* les apatites de Saxe et de Bohême sont rarement dans les conditions convenables.

6° Le feldspath lamelleux; une variété divisible.

7° Le quartz rhomboédrique; une variété non colorée.

8° La topaze prismatique; toute variété simple.

9° Le coryndon hyalin; la variété du Bengale.

10° Le diamant octaédrique.

Les types de cette échelle ont été choisis de manière à pouvoir être obtenus facilement dans les conditions convenables; leurs distances, au point de vue de la dureté, ne sont pas égales; ainsi il est évident que le diamant est bien plus dur relativement au coryndon, que le spath fluor relativement au spath d'Islande. — Mais il n'en résulte pas d'inconvénient, selon Mohs, car il n'y a pas de minéral dont la dureté ne puisse être comprise entre deux des types de l'échelle. Néanmoins, la distance entre le phosphate de chaux et le feldspath est trop grande, et il serait désirable qu'on pût substituer un autre minéral au premier. Quoiqu'on ne puisse, dans l'état actuel de la science, apprécier les distances des divers degrés de dureté des types adoptés, dit l'éminent minéralogiste allemand, l'échelle précédente n'en rendra pas moins service, en convenant de représenter les degrés de dureté des divers types par les nombres qui les précèdent. — Ces nombres

ne sont pas des rapports, et on ne doit les considérer que comme des points de repère, entre lesquels on classera la dureté de chaque corps.

L'intervalle compris entre deux degrés consécutifs est divisé en dix parties égales qu'on appréciera dans chaque cas particulier; il sera, toutefois, rarement nécessaire d'employer plus ou moins de 0.5.

Le zéro de l'échelle répond à la fluidité.

Quand on devra essayer la dureté d'un minéral, il faudra choisir des échantillons dont les faces seront planes et réfléchissantes, comme le sont souvent les plans de clivage; — les faces sont, du reste, rarement sans stries, sans inégalités, et quant aux surfaces artificiellement polies, pour quelques minéraux du moins, elles paraissent perdre de la dureté; quant aux angles, il importe de choisir les mêmes, dans des échantillons de même forme; car la structure a sur eux la plus grande influence: ainsi les angles du spath fluor octaédrique ou tétraédrique donnent des résultats complétement différents.

L'emploi des arêtes peut donner lieu aux mêmes difficultés. On fera intervenir, dans ces essais, l'emploi d'une lime fine, susceptible de rayer les minéraux; on frottera, avec la force la plus faible possible, des faces de même étendue; en essayant de cette manière deux types consécutifs de l'échelle, on constatera, même avec peu d'exercice, les différences de résistance qui mettront en évidence les différences des degrés de dureté. — Avec un peu d'habitude, ces observations deviendront plus précises et permettront d'apprécier les différences plus faibles que celles des types de l'échelle. Dès lors, voici comment il sera procédé à la détermination de la dureté d'un minéral quelconque:

On cherche à rayer, avec un angle du minéral donné, les types de l'échelle en partant de la partie supérieure, pour ne pas rayer inutilement les types inférieurs.

Quand on a trouvé le premier qui se laisse rayer, sans aucun doute, par le minéral donné, on essaye alors sur la lime ce type, le minéral donné et le type immédiatement supérieur. On veille à ce que la grosseur et la forme des échantillons soient sensiblement les mêmes, à ce que les angles se trouvent dans les mêmes conditions. On apprécie, en partie par la résistance que les trois corps offrent sur la lime, en partie par le bruit qui résulte de leur frottement sur elle, les rapports réciproques de leur dureté, et après avoir répété ces recherches avec les changements qui doivent y être apportés aussi souvent que la sûreté des résultats pourra l'exiger, on représentera la dureté du minéral essayé par le chiffre du membre inférieur de l'échelle qu'on lui a comparé, auquel on joint, quand les circonstances l'exigent et que les observations le permettent, une partie des divisions supplémentaires dont il a été question ci-dessus. La lime rend les meilleurs services quand elle est la plus dure et la plus fine possible. Cependant on devra remarquer qu'on pourrait employer une lime quelconque qui présenterait une dureté suffisante pour le minéral à essayer et les deux types qui le comprennent; car on ne compare pas la dureté d'un minéral à celle de la lime, mais à la dureté d'un autre minéral par *l'intermédiaire de la lime.*

L'usage qu'on fait ici de la lime est donc tout différent des opérations qui consistent à rayer le verre, à battre le briquet, à rayer avec le couteau ou avec l'ongle, etc., dont les minéralogistes s'étaient servis antérieurement. Le minéral dont on cherche la dureté, doit présenter la forme cristalline convenable, et la pureté des échantillons est nécessaire. On ne peut pas plus trouver le degré de dureté que le poids spécifique exact des corps, quand on opère sur des corps impurs. Les minéraux dont on veut déterminer la dureté ne doivent pas avoir subi de décomposition même commençante, et on doit prendre en considération toutes les circonstances qui peuvent influer sur la dureté si on veut avoir des résultats

exacts et utiles. Les minéraux qui se laissent diviser avec une extrême facilité dans une certaine direction, montrent souvent, sur les plans parfaits de clivage, une dureté moindre que sur les autres faces. Le disthène prismatique se laisse parfois rayer sur son plan principal de clivage par le spath fluor, tandis qu'un de ses angles attaque les faces de la chaux phosphatée et parfois même celles du feldspath.

Quand on devra caractériser un minéral analogue, ce qu'on aura de mieux à faire, sera de prendre une moyenne entre les deux limites supérieure et inférieure, ou de s'en tenir à la supérieure, plutôt qu'à l'inférieure; mais on comprend qu'il faut éviter avec soin d'introduire de semblables minéraux dans l'échelle. Quand on emploie toutes les mesures de précaution que commande la détermination de la dureté, et qu'on a tenu compte de toutes les circonstances qui peuvent avoir quelque influence sur elle, on trouvera que les individus qui appartiennent à une même espèce, s'accordent très-exactement les uns avec les autres, au point de vue de cette propriété, et que lorsqu'il se présente des écarts, ceux-ci ne forment pas des exceptions; mais les termes limites sont séparés par des intermédiaires qui les relient, et qui forment une série habituellement comprise entre des limites très-rapprochées.

J'ai traduit presque littéralement le paragraphe que Mohs a consacré à l'étude de la dureté, parce que, si son échelle est connue en France, les conditions de son emploi n'ont pas toujours été exposées complétement dans nos traités de minéralogie. Les recherches de Mohs ont été d'une incontestable utilité, mais je dois faire remarquer que les nombres qu'il donne, pour représenter la dureté des corps, ne sont que des points de repère, et qu'ils ont cet inconvénient de faire illusion, et de laisser supposer des rapports.

Cette observation s'applique aux dix divisions intermédiaires entre deux types consécutifs qui sont, du reste, assez rarement

employées. Les recherches et l'échelle de Mohs n'ont qu'une valeur transitoire; on doit se proposer comme but : 1° la détermination des duretés moyennes de toutes les espèces minérales; 2° celle des duretés des différentes faces d'un même minéral; 3° celle des duretés qui peuvent varier avec la direction sur la même face, et avec le sens dans la même direction; et 4° plus généralement celle de tous les corps solides, et plus particulièrement de ceux qui sont employés dans les recherches scientifiques ou dans l'industrie.

M. Frankenheim s'est occupé de la dureté des cristaux; et a, dans un mémoire intéressant[1], indiqué une méthode pour sa détermination. — Cette méthode consiste à apprécier l'effort fait par la main pour rayer les corps. — Lorsque la main est exercée depuis l'enfance à agir toujours avec la même intensité, on peut la considérer comme un instrument d'une grande sensibilité. — Si donc on prend comme corps rayants des baguettes et des aiguilles de zinc, de plomb, d'étain, d'or, d'argent, de cuivre, de fer de différents degrés de dureté, et pour les corps plus résistants, de la topaze et du saphir, en ayant soin de choisir, dans chaque cas, une aiguille dont la dureté ne soit que très-peu supérieure à celle du cristal étudié, et de ne comparer jamais, pour un cristal, que les observations faites avec la même aiguille, et dans un court intervalle de temps, on arrive à saisir les plus petites différences de la dureté, sans toutefois pouvoir en exprimer numériquement les rapports. Les faces destinées aux expériences doivent être très-nettes, très-polies, et autant que possible découvertes depuis peu.

Les faces rugueuses, inégales, ne conviennent pas, car le corps rayant y fait des raies plus profondes sous la même pression, et on est dès lors porté à attribuer au cristal une moindre dureté.

---

1. *De crystallorum cohæsione.* Vratislaviæ, typis Brehmeri et Minuthi. 1829. 1 broch. in-8°.

M. Frankenheim distingue deux sortes de variations de la dureté, les unes dans les différentes directions d'une même face, les autres dans les diverses faces d'un même cristal. Les premières sont en général plus faibles que les autres, et exigent plus de soin pour leur appréciation; mais on peut accorder plus de confiance aux résultats obtenus en les étudiant; car les causes qui modifient la surface des corps, telles que la vapeur d'eau atmosphérique, etc., diminuent ou plutôt détruisent les variations de la dureté des faces, sans changer les rapports de dureté dans les diverses directions d'une même face.

Dans les faces polies artificiellement, qui présentent toujours moins de netteté que les faces naturelles, on trouve aussi quelquefois des variations de dureté, pourvu qu'il ne s'y trouve pas de stries, car celles que l'on rencontre souvent dans les cristaux sont un obstacle aux expériences sur la dureté. — Les lignes parallèles aux stries sont en général plus polies que les lignes qui leur sont perpendiculaires, et présentent, d'après la remarque faite plus haut, plus de dureté que celles-ci. Le plus souvent, cependant, dans les corps qui offrent parfois des stries, alors qu'on expérimente sur des faces qui en sont dépourvues, on trouve que la dureté est moindre dans les lignes perpendiculaires à la direction habituelle des stries, que dans celles qui leur sont parallèles.

Avant d'exposer les résultats obtenus par le savant physicien allemand, je dois apprécier la méthode qu'il a employée. Elle présente à mes yeux trois défauts essentiels : le premier, qui a été reconnu par M. Frankenheim lui-même, c'est que le procédé qu'il adopte ne donne pas et ne *peut pas donner* de résultats numériques. Il ne permet de comparer que vaguement les duretés variables d'un même cristal, soit sur des faces différentes, ou dans les directions différentes d'une même face; et si on l'employait pour la comparaison des duretés d'espèces minérales distinctes, on ne pourrait établir par son moyen qu'une échelle, et non des rapports de dureté.

Une méthode semblable n'est point scientifique; elle ne peut être que provisoire; maniée par des mains habiles, elle peut donner, sans doute, des résultats importants; mais avec les progrès de la science elle doit disparaître, et faire place à une méthode plus rigoureuse et à des résultats plus précis.

Le second reproche à adresser à la marche suivie, c'est qu'elle est *personnelle;* il faut que l'observateur ait été préparé de longue date à ces essais, et possède une sensibilité, une sûreté de tact que tout le monde n'a pas. — Une méthode qui exige une sensibilité spéciale et un exercice prolongé, est condamnée à l'avance; et je ne sache pas que personne ait eu l'idée de l'employer après M. Frankenheim.

Enfin un autre vice radical de ce mode d'expérimentation, c'est qu'il paraît impossible de distinguer dans la sensation qui résulte de la pression et de l'effort tangentiel destinés à rayer la face d'un cristal, ce qui est relatif à la pression, et ce qui concerne l'effort exercé parallèlement à la surface du minéral. Or, nous montrerons que, dans une appréciation exacte de la dureté, il importe de séparer les grandeurs relatives à ces deux actions.

Ces réserves faites, je vais, en m'appuyant sur la dernière publication de l'auteur[1], donner le résumé des principaux résultats qu'il a obtenus.

M. Frankenheim distingue trois sortes de variations de la dureté pour un même cristal:

1° Sur la même droite dans des sens opposés;

2° Sur la même face, suivant des directions différentes;

3° Sur les faces différentes.

Il n'est pas question, dans ce travail, d'établir une comparaison entre les duretés des divers minéraux.

Des directions cristallographiques égales ont toujours la

---

1. *Die Lehre von der Cohäsion.* Breslau, Schulz und Comp. 1835. 1 vol. in-8°, p. 328 et suivantes.

même dureté. — Deux directions cristallographiques différentes ont *peut-être* toujours une dureté différente.

Les corps isomorphes ont des duretés *absolues* bien différentes. Toutefois leurs duretés *relatives* sont égales. C'est ainsi que l'azotate de soude est bien plus mou que le spath d'Islande. Toutefois sa forme cristalline est presque identique, et toutes les variations de la dureté y correspondent à celles du carbonate de chaux.

Il en est de même pour les corps qui appartiennent à une même famille du système cristallin régulier.

1° Dans les faces, récemment obtenues, des 2e et 3e clivages du *gypse*, et suivant les lignes parallèles au clivage principal, on obtenait une moindre dureté en allant vers l'angle obtus, qu'en se dirigeant vers l'angle aigu.

Sur les faces de la pyramide du *quartz*, la dureté paraît moins grande en se dirigeant perpendiculairement du sommet aux arêtes de la base, qu'en se mouvant en sens opposé.

Sur le prisme ordinaire de l'augite, la dureté paraît plus faible en allant vers l'arête qui répond à un angle aigu, qu'en rayant vers l'arête qui répond à un angle obtus. — Sur les faces de clivage elles-mêmes on ne remarque pas de différence.

Dans le *spath calcaire* et dans l'*azotate de soude*, et dans les plans de clivage, on trouve suivant les droites parallèles à la petite diagonale, et en se dirigeant vers l'angle obtus, la dureté plus faible que dans le sens opposé. On ne constate pas de différence, selon le sens, sur la grande diagonale.

2° Dans le *sel gemme*, sur les faces du cube, la dureté est plus grande dans la direction de la diagonale que dans celle des arêtes. — Le clivage se fait d'ailleurs parallèlement aux faces du cube[1].

---

1. *Die Lehre von der Cohäsion*, p. 332. Je cite cette page, parce que l'auteur me paraît s'y être mis en contradiction avec lui-même, en concluant que, pour le *sel gemme* et le *spath fluor*, la dureté est la plus grande dans la direction parallèle aux plans de clivage.

Dans le *spath fluor*, où le clivage se fait selon les faces de l'octaèdre, la dureté, sur les faces du cube, est plus grande selon les arêtes que parallèlement aux diagonales.

L'azotate de strontiane dont la structure est analogue à celle du spath fluor, a fourni des résultats analogues. Dans le spath fluor plus cassant, les différences sont plus marquées.

Sur les faces latérales du prisme hexagonal de la *mine de plomb verte* (variété de phosphate de plomb natif), la dureté est plus grande dans la direction parallèle aux arêtes que dans la direction perpendiculaire.

Pour le *quartz*, et sur les faces latérales, la dureté *paraît* plus grande perpendiculairement que parallèlement à l'axe.

Le *gypse* a trois clivages: l'un d'eux parfait (A), le deuxième (B) moins facile à surface striée, et le troisième (C) à surface légèrement conchoïdale, inférieur aux précédents.

M. Frankenheim a trouvé que la dureté, sur le plan principal A, est la plus grande dans la direction parallèle à B et sur la perpendiculaire à l'intersection de A et de C, où elle diffère d'ailleurs très-peu de la précédente, et la plus faible dans la direction parallèle à C et sur la perpendiculaire à l'intersection de A et de B.

Le rhomboèdre principal du *spath calcaire* présente son minimum de dureté parallèlement à la petite diagonale, en rayant vers l'angle obtus, et la dureté maximum sur la même diagonale, en rayant vers l'angle aigu.

La dureté de la grande diagonale est comprise entre les duretés qui correspondent aux deux sens de la petite diagonale, plus voisine du maximum que du minimum[1].

Le *mica* n'a pas donné de variations de la dureté qu'il fût possible d'apprécier.

3° Les différences de dureté, en passant d'une face à l'autre

1. L'auteur fait remarquer ici que Seebeck a cru obtenir le minimum de dureté selon la grande diagonale, et maintient, après de nouvelles recherches, ses premiers résultats.

d'un même cristal, présentent plus d'incertitude que celles qui ont été recherchées sur la même face; en voici la raison:

L'air, l'humidité, la poussière même agissent d'une manière variable sur les faces diverses d'un cristal et rendent les déterminations de la dureté fort incertaines quand les faces ne sont pas polies et récemment obtenues, tandis que les mêmes causes ne modifient pas complétement les rapports de la dureté qui existent dans les directions différentes d'une même face. — L'auteur croit cependant pouvoir répondre des résultats suivants:

Dans le *spath fluor* les faces octaédriques sont plus dures que les faces du cube; il paraît en être de même de l'*azotate de strontiane.*

Dans le *spath calcaire* les faces du prisme sont plus dures que celles du rhomboèdre.

Une lame de gypse a sur sa face principale de clivage une dureté bien plus faible que celle des faces du cristal ou des deux autres plans de clivage.

Il résulte de l'ensemble des observations que quand les plans de clivage ne forment pas des angles très-aigus, la dureté est la plus faible sur le plan de clivage principal.

On voit, par ce qui précède, que les trois ordres de variations de la dureté sont en relation étroite avec la direction des plans de clivage. — M. Frankenheim formule, en conséquence, dans les termes suivants, les lois qui se déduisent de ses recherches:

1° La dureté est la plus faible sur les plans de clivage. Les minéralogistes apprécient la dureté *absolue*, sur le plan de plus facile clivage d'un minéral; sa dureté moyenne doit donc être supérieure à la précédente.

2° Sur une face quelconque, la dureté est la plus faible sur la droite qui est perpendiculaire à l'intersection de la face avec le plan de plus facile clivage.

3° Sur une ligne perpendiculaire à la droite d'intersection

d'un plan de clivage avec la face qu'on étudie, la dureté est plus faible en se dirigeant vers l'angle obtus, qu'en allant vers l'angle aigu.

Je passe aux recherches entreprises par Seebeck pour déterminer la dureté des cristaux et je vais analyser le mémoire qu'il a publié sur ce sujet[1].

L'illustre physicien fait remarquer qu'on ne possède que des notions fort imparfaites sur la nature et la grandeur de la cohésion, et de là cette conséquence, que quand la cohésion influe sur les phénomènes, il est impossible d'en tenir compte et de l'introduire dans les calculs.

Les seuls travaux relatifs à la cohésion sont ceux qui ont été entrepris sur l'élasticité, et ceux qui, ayant pour objet de déterminer la force nécessaire pour rayer les corps, n'ont donné jusqu'à présent que des résultats fort incertains. On peut rattacher à l'élasticité les faits relatifs à la vibration des lames, aux propriétés optiques des cristaux, les phénomènes électriques de quelques-uns d'entre eux et les faits relatifs à la propagation de la chaleur et de l'électricité dans différentes directions d'une même face.

Or, il ne paraît pas douteux que la dureté soit en relation étroite avec l'élasticité; mais qu'elle en diffère cependant, c'est ce qui paraît prouvé par les phénomènes optiques des cristaux du système régulier, entre autres, sur les faces desquels on trouve des différences de dureté, alors que les phénomènes de réfraction ou de réflexion ne paraissent pas y varier.

On a les preuves les plus convaincantes de la différence de dureté dans un même cristal, par les lignes de clivage qu'on y constate et par ce fait que les diverses faces se comportent très-différemment quand on cherche à les frotter ou à les

1. *Ueber Härteprüfung an Krystallen.* Berlin, Unger. 1833. 1 brochure in-4°.

polir; il n'est, par exemple, dans le spath calcaire pas de surface plus difficile à obtenir que celle qui est perpendiculaire à l'axe.

Seebeck, pensant que l'étude des cristaux pourrait fournir les éclaircissements les plus importants sur les lois de la cohésion et sur son influence sur les phénomènes physiques, s'est occupé de la recherche de la dureté des corps cristallisés, à l'aide d'un appareil que je vais décrire, après avoir fait connaître l'idée qu'il se forme de la dureté et le moyen qu'il adopte pour la déterminer numériquement.

La dureté, pour Seebeck, est la résistance opposée normalement par un corps, à une pointe ou à une lame terminée en biseau, employée pour le rayer; — il prend pour sa mesure le poids dont il faut charger la pointe pour obtenir, sur une surface, la première raie visible à la loupe.

La production d'une raie perceptible sur une surface dépend de la dureté du corps, de son degré de poli, de la dureté, de la forme et de la position du corps rayant, de la force avec laquelle il est pressé contre la surface, et enfin, comme M. Frankenheim l'a remarqué, de la vitesse qu'on lui communique. — Or, entre ces éléments qui ont plus ou moins d'influence sur la formation d'une raie, il en est un qui lui paraît susceptible d'une estimation précise, c'est la pression nécessaire pour l'obtenir; cette pression exprimée en fonction de l'unité de poids adoptée pourra représenter numériquement la dureté, si on s'astreint à ce que les autres conditions restent les mêmes, si ce n'est pour deux cristaux différents, du moins, pour un même cristal, ou pour le moins, pour la même face d'un cristal.

Voici maintenant la description de l'appareil:

Deux montants parallèles, fixés sur une table horizontale, supportent l'axe en acier d'un levier rectiligne de bras, à peu près égaux, en cuivre et de $209^{mm},3$ (8 pouces pruss.) de longueur; l'un de ces bras sert à équilibrer le levier, l'autre porte

à son extrémité une douille dans laquelle on engage et on retient par une vis de pression la pointe ou la lame tranchante qui doit rayer. — Quand le levier est horizontal, l'axe de la pointe ou de la lame est vertical.

Sous la pointe ou la lame, on place la surface à essayer qu'on fait glisser horizontalement sur la table, pendant qu'un poids suspendu au levier presse le corps rayant contre la surface. On peut modifier la grandeur de cette pression, soit en changeant le poids comprimant, soit en le déplaçant sur son bras de levier, lequel est partagé en quarante parties égales. Pour que le cristal soit déplacé régulièrement, on le fixe sur une planchette rectangulaire qu'on applique par l'un de ses côtés contre un liteau, fixé sur la table parallèlement au levier, et le long duquel on la fait glisser. Quand un cristal doit être essayé dans plusieurs directions, la planchette porte un cercle en cuivre divisé, dont on règle l'horizontalité et qu'on peut faire tourner avec les corps qui sont fixés sur lui.

Lorsqu'on veut procéder à une expérience, on met en place la pointe, qu'on choisit de manière à ce que sa dureté surpasse très-notablement celle du corps à rayer, pour qu'elle ne s'use pas trop promptement; puis on équilibre le levier; si c'est un biseau qu'on veut employer comme corps rayant, on le disposera parallèlement au levier et, par conséquent, à la direction dans laquelle la surface de la lame devra être déplacée. — La table est ensuite rendue horizontale à l'aide de vis calantes et le cristal à essayer est collé sur la lame de cuivre de manière à être touché par la pointe quand le levier est horizontal; on constate l'horizontalité de sa face supérieure à l'aide d'un niveau à bulle d'air. Lorsque la position des lignes cristallographiques est déterminée relativement à la division du cercle de cuivre, on tourne ce dernier, de manière à ce que la direction suivant laquelle la raie doit se faire, soit parallèle au liteau le long duquel le mouvement aura lieu: on suspend un poids à l'extrémité du bras de levier qui doit exercer la pression

et on abaisse lentement la pointe sur la lame; le poids employé doit être tel qu'il donne, sur la lame, une raie visible à la loupe, quand, en faisant glisser le cristal, on l'éloigne du milieu du levier. On rapproche alors le poids de l'axe du levier; on s'assure qu'on obtient encore une raie, et on continue ainsi jusqu'à ce que toute trace de raie s'évanouisse pour l'œil armé de la loupe. Du poids suspendu au levier, de la division à laquelle il s'est arrêté, on déduit la pression pour laquelle la dernière trace d'une raie pouvait être appréciée[1].

Comme cette limite dépend en partie de la manière dont la lame est éclairée, il faut que, pendant les expériences, la lumière soit aussi égale que possible. Pendant le jour, les observations méritent peu de confiance, en raison des variations de clarté qui se produisent d'heure en heure; aussi l'auteur a-t-il pris toutes ses mesures à la lumière d'une lampe.

Il fait remarquer encore qu'il considère comme moins sûre la marche inverse de celle qu'il a suivie, et qui consiste à déplacer un poids sur le levier, d'une position où il ne donne pas encore de raie, jusqu'à ce qu'on commence à en apercevoir une, parce que cette première trace est plus difficile à saisir quand elle n'a point eu de précédent. — Du reste, en allant d'une pression plus forte à une pression plus faible, on fera bien de soulever le levier, et de faire marcher un peu la lame, pour mettre un intervalle entre les deux traits, parce qu'il serait possible que la raie, par une pression plus faible, parût moins marquée, quand elle est la suite immédiate d'un trait plus fort, quoique Seebeck n'ait pas obtenu de différences marquées dans les deux cas.

Les résultats obtenus ne présentent pas toute la rigueur désirable; car on trouve de petites différences, dans des conditions qui paraissent identiques; néanmoins, elles sont, dans

1. L'auteur néglige comme minime l'erreur qui peut résulter du frottement de l'axe du levier sur ses supports.

bon nombre de cas, négligeables relativement aux différences qu'il s'agit de mesurer; il en est autrement, quand les différences résultent de l'état de la surface, comme on le verra plus loin pour le gypse.

L'appareil aura, du moins, cet avantage de mettre plus facilement en évidence les inégalités de surfaces différentes, qu'il n'eût été possible de le faire en employant la marche suivie par M. Frankenheim.

De plus, la pointe ou la lame rayante conserve toujours la même position sur la face à attaquer, ce qui est d'une très-grande importance pour l'exactitude des résultats; car les nombres obtenus sur une même face ne changent pas seulement en valeur absolue, mais dans leurs rapports, quand on remplace une pointe par une autre, ou en changeant la position du corps rayant et, par exemple, en lui donnant une autre inclinaison sur la surface. Les nombres obtenus ne doivent pas non plus être considérés comme donnant une mesure absolue des différences des forces de résistance du cristal dans différentes directions, mais uniquement une mesure relative au corps, ou du moins, à la forme du corps, qui a servi à rayer la lame.

La lumière a été prise de haut pour voir les raies, et l'auteur a mieux aimé chercher le moment de leur disparition que d'apprécier leur égalité; il pense que cette dernière marche eût présenté de sérieuses difficultés.

Seebeck fait remarquer, en terminant l'exposé de la méthode qu'il a employée, qu'on serait arrivé sans doute à des résultats différents si, pour une pression suffisamment grande et constante, exercée sur l'une des faces d'un cristal, et dans diverses directions, on avait cherché à mesurer l'effort nécessaire pour le faire glisser; toutefois, les nombres obtenus par cette deuxième méthode doivent être liés à ceux que la précédente a fournis.

Avant de donner les principaux résultats du savant physicien

allemand, il me sera permis de présenter quelques observations sur la marche qu'il a suivie, sur les causes d'erreur qu'on y découvre et sur le degré de confiance qu'on peut accorder aux mesures, peu nombreuses d'ailleurs, qu'on trouve dans son travail.

La définition que Seebeck donne de la dureté me paraît incomplète, parce qu'elle laisse de côté la résistance opposée par les corps, parallèlement à leur surface, au style quelconque destiné à les entamer.

Comme nous ne connaissons pas la relation qui lie la résistance *tangentielle* à la pression, il faut comprendre cette résistance dans une définition générale de la dureté; cette relation, d'ailleurs, fût-elle connue pour les corps homogènes, il faudrait encore conserver la dureté tangentielle, parce qu'elle peut varier pour la même pression, suivant les directions différentes de la même face d'un cristal.

En second lieu, la méthode d'expérimentation n'est pas générale; elle ne permet pas la comparaison des duretés des différents corps. Elle donne, tout au plus, les rapports de dureté *normale* des différentes faces d'un même cristal, ou, pour être rigoureux, il faudrait dire qu'elle ne fournit que les rapports de dureté des directions diverses d'une même face; elle suppose, en effet, un pouvoir réfléchissant identique que des faces semblables peuvent seules posséder; il est juste d'ajouter que Seebeck ne l'a employée que dans ce dernier cas.

Quant aux causes d'erreur, sans parler du frottement de l'axe du levier que je suppose négligeable, je ferai remarquer que la variation de lumière, pendant les expériences, en est une si sérieuse que l'auteur a craint d'employer la lumière du jour. Or il eût été indispensable, en employant une lampe, de recommencer les expériences en sens inverse, au bout d'un certain temps, pour voir si on tomberait sur les mêmes résultats; car la lumière de la lampe a pu diminuer et l'œil a pu se fatiguer.

Les nombres obtenus dépendent très-probablement de la vitesse de déplacement du cristal, et on ne peut apprécier assez exactement la vitesse du mouvement de la main pour être assuré que dans les expériences successives elle ne variera pas.

Il faudra tenir compte de l'usure du corps rayant et éviter la courbure des lames minces des cristaux flexibles.

Enfin, l'horizontalité de la face qu'on veut rayer, doit être déterminée avec une très-grande exactitude, et la moindre négligence, sous ce rapport, peut être la cause de différences notables dans les pressions obtenues. On comprendra dès lors comment l'auteur a pu trouver, à diverses reprises, des résultats contradictoires, ou peu d'accord avec ceux obtenus antérieurement, et, pour citer un exemple, comment il a pu arriver que les nombres trouvés pour le spath d'Islande ne s'accordent ni avec ceux de M. Frankenheim, ni avec ceux que M. Franz a obtenus plus tard à l'aide d'un appareil analogue à celui qui vient d'être décrit. — Je passe, après ces observations, aux expériences de l'auteur, sur le spath d'Islande et le gypse, dont il s'est particulièrement occupé.

Spath d'Islande. — En laissant de côté les clivages secondaires, le spath calcaire a trois directions de clivage parfaitement déterminées, parallèles aux trois faces d'un rhomboèdre obtus dont l'inclinaison sur l'axe est environ de 45 degrés[1].

En opérant sur l'une des faces de ces clivages parfaits, on a représenté les directions prises par la raie sur la face, par les angles que ces directions font avec la petite diagonale, en partant du sommet de l'angle obtus du rhomboèdre, pour la direction 0°, et en allant vers ce même sommet pour la direction 180°.

La grande diagonale correspondra à la direction ± 90°. Lorsque l'angle obtus du rhombe est environ de 102°, les di-

1. Plus exactement 45° 23' 1/3.

rections ± 39° et ± 141° représentent les directions perpendiculaires aux côtés, et les angles de 51° et de 129°, les directions parallèles à ces mêmes côtés.

En faisant quelques recherches préliminaires avec des aiguilles d'acier appliquées perpendiculairement à la face de la lame à essayer, Seebeck constata le résultat, déjà indiqué par Huyghens, que sur la petite diagonale il faut employer, pour rayer, une force différente, plus grande dans la direction 0° que dans la direction contraire 180°.

La grande diagonale présente des duretés égales dans les deux directions + 90° et — 90°; de la direction 0° qui répond au maximum, la dureté paraît diminuer jusqu'à ± 90° et puis augmenter jusqu'à 180°, qui répond à un nouveau maximum, inférieur toutefois au premier.

Comme ces résultats ne s'accordent pas avec ceux trouvés par Frankenheim, qui trouve le minimum de dureté sur la petite diagonale, au moins pour la direction 180°, Seebeck, afin d'éclairer la question, entreprit une recherche avec une pointe d'aiguille à coudre qui était placée obliquement sur la surface, parce que la différence des résultats pouvait tenir à ce changement.

L'aiguille étant placée de manière à faire un angle obtus avec le trait qu'elle laisse derrière elle, il semble que la dureté augmente sur la grande diagonale et diminue sur la petite, de manière à ce que la première puisse l'emporter sur la seconde.

Dans deux expériences, où l'aiguille était placée de manière à faire un angle aigu avec la raie qu'elle venait de tracer, les résultats furent très-incertains parce que l'aiguille s'usa rapidement; cependant le minimum parut répondre à 180° et le maximum à 90°.

Deux conséquences sont à tirer de ces essais: la première, c'est l'importance de la permanence de la forme du corps rayant, et, comme on pouvait s'y attendre, la seconde, l'influence de la position du corps rayant sur la face à attaquer.

Dans les expériences qui vont suivre, Seebeck n'employa que des pointes de forme conique dont l'axe était perpendiculaire à la surface, ou un couteau dont l'arête curviligne avait la direction de la raie qu'il devait tracer.

Avec une tige d'acier trempé bleu de 1.63 mill.[1] de diamètre qui se terminait par un cône dont l'angle au sommet était de 60°, il obtint les résultats dont il a été question plus haut, c'est-à-dire le maximum à 0°, une dureté plus faible à 180°, une dureté minimum à 90° et une dureté intermédiaire entre 90° et les deux extrêmes. Les poids employés pour obtenir la dernière trace d'une raie sont consignés dans le tableau suivant:

Directions.	Poids.[2]
0°	46 grains.
39°	40 »
90°	27 »
141°	36 »
180°	39 »

Les valeurs de ce tableau sont les moyennes des résultats obtenus pour + 39° et — 39°; il en est de même pour les autres déterminations.

On suivit, pour les obtenir, l'ordre des degrés de 0° à 180° et de 180° à 360°; de cette façon, les petites erreurs qui peuvent résulter de l'usure de la pointe (à peine appréciable d'ailleurs dans ce cas), se compensèrent sensiblement, parce que les directions symétriques de la seconde demi-circonférence se suivaient dans l'ordre renversé des premières. Avec un deuxième échantillon de spath calcaire et en employant une lame d'acier taillée en biseau, dont l'angle des deux faces était de 25° environ, et dont l'arête avait la forme d'un demi-cercle

1. 3/4 de ligne prussienne.

2. Je laisse ici, sans les transformer, les poids donnés par l'auteur, parce que leurs rapports se présentent ainsi sous une forme plus simple.

de 1.63 mill. de diamètre, Seebeck obtint les nombres suivants :

Directions.	Poids.	Directions.	Poids.
0°	39 grains.	110°	17 grains.
20°	34 »	129°	17 »
39°	26 »	141°	23 »
51°	23 »	160°	28 »
70°	22 »	180°	31 »
90°	14 »		

Tout en accordant peu de confiance à ces résultats par suite des erreurs d'observation et de l'usure de la lame assez grande, dans ce cas, il admet encore comme établi que la dureté décroît de 0° à 90° pour s'accroître ensuite de 90° à 180°. Une pointe de diamant de vitrier, déjà un peu obtuse, donna les nombres suivants :

Directions.	Poids.
0°	193 grains.
90°	137 »
180°	160 »

résultats qui confirment les précédents.

Les expériences faites sur le gypse montrèrent qu'il est certains corps qui semblent se refuser à une détermination précise de la dureté; on trouve dans ce corps trois plans de clivage, dont deux sont perpendiculaires au troisième, qui est de beaucoup le plus parfait, et font entre eux un angle de 113°.

Indépendamment de ces deux plans de moins facile clivage, dont l'un est fortement strié, et l'autre, de forme conchoïdale, il se présente encore, rarement il est vrai, deux autres plans de clivage dont nous n'avons pas à nous occuper. En essayant de reprendre les expériences de Frankenheim, les résultats furent extrêmement discordants, et après quelques recherches pour découvrir la cause des divergences, Seebeck s'aperçut que, le gypse étant flexible sans être élastique, les faces du

clivage plus parfait sont habituellement courbées. Il en résulte que, certaines parties de la surface étant distendues et d'autres comprimées par cette courbure, l'état général de la cohésion de la lame se trouve essentiellement modifié, et de là viennent les différences qui ont été constatées. — Pour vérifier cette conjecture, Seebeck employa une surface de clivage, récemment obtenue, aussi plane que possible, et appartenant à une lame collée avec soin sur une tablette, pour qu'elle ne pût se déformer.

Les différences anomales qu'on avait obtenues antérieurement s'évanouirent; mais les variations de la dureté dans diverses directions furent alors peu appréciables, et sa valeur absolue si faible qu'une comparaison précise n'était plus possible. — C'est ainsi que, si on prend pour la direction 0° la droite parallèle à la surface striée et 113° comme direction parallèle à la surface conchoïdale, les limites de la pression, avec un petit couteau en cuivre, à angle dièdre obtus furent comprises entre 2.7 grains et 3.6 grains, pour les directions 0°, 23°, 45°, 67°, 90°, 113°, 135°, 157° et 180°. On devra remarquer, toutefois, que les duretés les plus faibles des surfaces planes semblent répondre aux parties les plus molles des surfaces courbées.

Seebeck ne s'est pas occupé de l'étude des duretés relatives des diverses faces d'un même cristal; la différence de poli des surfaces différentes est un obstacle sérieux à une détermination précise et il pense que peut-être la difficulté pourrait être levée en prenant des faces artificiellement polies; il donne, comme nombres obtenus sur une face polie d'un cube de sel gemme, rayée avec un couteau d'acier un peu obtus, 15 grains dans la direction parallèle à l'arête et 22 grains dans celle de la diagonale; ces nombres, moyennes de diverses expériences qui s'accordaient assez bien, confirment les résultats de Frankenheim sur les faces de clivage cubique des cristaux.

En 1850, un élève de M. Plücker, M. Rudolf Franz, publiait,

un mémoire sur la dureté des minéraux[1], dont je vais donner une analyse étendue.

M. Franz définit la dureté d'un cristal: la résistance qu'il oppose à se laisser pénétrer par un autre corps, ou la force qui résiste au mouvement d'une pointe qui, l'ayant pénétré, raye sa surface; — la mesure de ces forces *paraît* être la pression qu'il faut employer dans le premier cas ou l'effort nécessaire pour déplacer la pointe dans le second; l'auteur a employé deux instruments pour trouver la dureté.

Le premier se compose de trois parties (Planche II, fig. 1):

1° La table sur laquelle les cristaux sont placés; le cristal est fixé à l'aide de cire sur une tablette en bois qui est elle-même maintenue sur la table à l'aide de vis de pression, ou bien introduit et fixé à l'aide de plâtre dans un moule en fer, en s'arrangeant de telle sorte que la surface qu'on veut explorer soit horizontale: cette horizontalité se constate dans les grands cristaux à l'aide d'un niveau à bulle d'air, à vue d'œil, dans les petits.

La table forme d'ailleurs la partie supérieure d'un traîneau traversé par une vis horizontale dont le mouvement détermine le déplacement du traîneau et, par conséquent, du cristal dans un sens déterminé.

2° Un levier soutenu par deux tourillons s'engageant dans un support mobile de forme prismatique qui pénètre dans l'espace creux d'un support fixe, et peut y être maintenu, à l'aide de vis de pression, dans la position qui conviendra; ce levier se termine à une extrémité par un plateau circulaire horizontal et à l'autre extrémité par un écrou destiné à l'équilibrer.

3° Sous le plateau et en son centre se trouve un cylindre creux vertical qui reçoit et maintient, à l'aide d'une vis de

---

1. Rudolf Franz, *De lapidum duritate, eamque metiendi novâ methodo.* Bonnæ, Lechner. 1850. 1 broch. in-8°.

pression, la queue d'une pointe conique en acier d'un poids de 13 gr. et d'un angle de 54°, ou d'un diamant enchâssé, d'un poids de 9.5 gr.

Le levier étant horizontal, et un petit disque de verre mince étant placé sur le cristal, on desserre les vis qui retiennent le support du levier, on le fait descendre jusqu'à ce que la pointe touche le disque et on le fixe; ceci fait, en relevant un peu le levier, on enlève ce disque et on ramène la pointe sur le cristal.

Après cette précaution que l'on prend pour que la pointe touche toujours le cristal de la même manière, — on fait, à l'aide de la vis, mouvoir le traîneau et, par conséquent, la table et le cristal et on cherche quel est le poids dont il faut charger le plateau pour qu'on commence à apercevoir une raie à la surface du cristal.

La cohésion étant très-faible dans beaucoup de cristaux, l'expérience montre qu'en employant une pointe de diamant pour les rayer, elle ne fournit pas de différence appréciable dans les diverses directions; on lui a donc substitué un cône d'acier pour les cristaux les plus mous.

La table a été divisée en 360° et construite de manière à pouvoir tourner, ce qui permet d'orienter le cristal dans toutes les directions.

Comme toutefois il est possible, même avec le cône d'acier, qu'on ne puisse apprécier de faibles différences de dureté, l'auteur a employé le deuxième instrument suivant (Planche II, fig. 2): Sur deux rails en fer parallèles se meuvent, avec une grande facilité, deux roues dont l'essieu porte une tige verticale, sur laquelle on peut fixer à différentes hauteurs, à l'aide d'une vis de pression, un bras de levier horizontal portant à son extrémité un plateau (A), au-dessous et au centre duquel se trouve un cylindre creux dans lequel on peut engager, à l'aide d'une vis de pression, une pointe d'acier ou de diamant qui vient affleurer la face qu'on veut rayer; la partie

supérieure du cylindre porte un crochet, auquel s'adapte un cordon qui prolonge horizontalement le levier, vient s'enrouler sur une poulie fixe et se termine par un plateau (B).

On peut combiner cet appareil avec le précédent de manière à se servir de la table tournante qui s'y trouve, en remplaçant d'ailleurs le levier du premier par la poulie du second.

Le poids qu'il sera nécessaire d'introduire dans le plateau (B), pour que la pointe se meuve, mesure la résistance des particules du cristal. — M. Franz ajoute que cette résistance sera d'autant plus grande que la pointe y pénétrera plus profondément; aussi trouve-t-on, dit-il, en comparant les résultats fournis par les deux instruments, que le poids le plus grand dans le second répond au poids le plus faible dans le premier.

Avant de passer aux résultats obtenus par l'auteur, je dois faire remarquer que le premier appareil n'est autre chose que celui employé par Seebeck, rendu un peu plus sûr et plus commode, et le second une modification de l'appareil employé par Coulomb pour la recherche des lois du frottement. — Je cite ici, d'autant plus volontiers, le nom de l'illustre physicien français qu'il a été oublié dans le mémoire de M. Franz.

La critique que j'ai faite de la définition de la dureté et de sa détermination par Seebeck, s'appliquant à la définition moins précise et aux expériences faites avec le premier instrument employé par M. Franz, je n'ai pas à y revenir. — Quant au deuxième instrument, on remarquera que les conditions de son emploi n'ont pas été analysées par l'auteur, de sorte qu'on ne sait pas exactement le sens qu'il faut attacher aux nombres qu'il a obtenus.

M. Franz dit sans doute que la résistance offerte tangentiellement par un corps au déplacement d'une pointe sera d'autant plus grande que la pointe y pénétrera plus profondément. Ceci est vrai, quand il s'agit d'un même corps, mais n'est pas certain quand il s'agit de deux corps différents.

Admettons, avec l'auteur, qu'on ne se servira de l'appareil que pour étudier la même surface d'un corps dans différentes directions; là encore se présente une difficulté qui semble lui avoir échappé. Les expériences ont été faites en chargeant le plateau (A) d'un même poids susceptible de donner une raie dans les diverses directions; or, il est bien certain que, sous la même charge, la même pointe se trouve enfoncée *à la même profondeur*, *quelle que soit l'orientation*, au *début* des expériences qui se font dans les diverses directions. Les charges placées dans le plateau (B), plus le poids de celui-ci, devraient donc, en négligeant le poids nécessaire pour faire marcher le chariot quand la pointe ne touche pas la lame, représenter les résistances parallèles à la surface, à égalité de profondeur dans les différentes directions.

L'auteur a pris les inverses de ces résistances pour représenter les duretés, sans en donner d'autre raison que celle-ci, qui ne me paraît pas applicable ici: plus un corps est mou et plus une pointe s'y enfonce. Je ne cherche point, du reste, à contester que dans beaucoup de cas, une même pointe, également chargée, étant placée sur des corps inégalement durs, les corps plus durs exigeront une force moindre pour son transport à leur surface; les expériences que j'ai faites, dont quelques-unes seront consignées plus loin, montrent qu'il en est ainsi.

Mais je dois dire que ce résultat jette quelques doutes sur les appréciations faites par M. Frankenheim des efforts exercés dans ses essais; lui a-t-il été possible de démêler assez bien ce qui appartenait à la pression normale et à l'effort tangentiel pour pouvoir affirmer d'une manière certaine, alors que ces deux actions semblent varier en sens inverse, que la dureté est plus grande dans un sens que dans un autre.

Je crois inutile d'insister sur ces objections dont on comprendra, j'espère, l'importance et je passe aux résultats obtenus par M. Franz, que je donnerai à peu près intégralement

pour ne rien omettre de ce qui a été tenté pour la détermination de la dureté[1].

L'auteur a divisé son travail en deux parties : dans la première il étudie la dureté du même cristal, dans différentes directions d'une même face; dans la seconde il essaye de comparer les duretés des types de l'échelle de Mohs.

Première partie. — 1° Le *talc* n'a fourni aucune différence dans les différentes directions, quoiqu'il appartienne au système rhomboédrique ; il est vrai qu'après de nombreuses recherches l'auteur n'a trouvé aucun échantillon qui lui offrît un plan de clivage. — La pointe était mise en mouvement dans le deuxième appareil par un poids de 49.10 gr. introduit dans le plateau (B), quoique le plateau (A) n'eût pas été chargé ; il est vrai que la surface du cristal était soumise au poids du plateau (A) et du cylindre qui lui répond et par le poids de 13 gr. de la pointe d'acier.

2° Le *gypse*, n'ayant donné aucune différence dans les différentes directions avec le premier instrument, fut essayé avec le second, fixé sur une tablette avec de la cire et orienté de telle façon que la pointe d'acier suivît la petite diagonale du plan de plus facile clivage, la direction 0° partant de l'angle obtus du rhombe. — Les poids nécessaires pour mouvoir la pointe dans les directions différentes étaient représentés par les nombres suivants :

Directions.	Poids.	Directions.	Poids.
0°	21.71 gr.	60°	26.42 gr.
5°	20.90 »	65°	26.85 »
10°	18.46 »	70°	28.22 »
15°	18.00 »	75°	28.92 »
20°	17.75 »	80°	30.12 »
25°	20.57 »	85°	30.00 »
30°	22.85 »	90°	30.80 »
35°	23.55 »	95°	34.05 »
40°	24.27 »	100°	35.00 »
45°	24.80 »	105°	37.10 »
50°	24.30 »	110°	40.35 »
55°	25.65 »	115°	36.35 »

1. M. Franz ne tient pas compte du frottement dans ses deux appareils et n'en parle même pas; il est à supposer qu'il a pu être négligé.

L'auteur conclut de ces expériences que la plus grande dureté du gypse est dans la direction de 20° et qu'elle se rapproche de la direction du second clivage, tandis que la direction de plus faible dureté est perpendiculaire à la précédente et inclinée de 14° environ sur la direction du troisième clivage. En employant, au lieu de gypse de Montmartre, qui a fourni les résultats précédents, du gypse des environs de Gotha, on obtenait les mêmes rapports de poids pour les diverses directions; toutefois, dans ce dernier cas, les nombres obtenus étaient plus grands, parce que le cristal était plus mou.

Dans le deuxième, en effet, on obtenait une raie visible, avec le premier appareil, et dans le plan du clivage le plus parfait, avec un poids additionnel de 0.7 gr., tandis que, pour le premier, il fallait employer, pour la même surface et la même direction, un poids de 1.5 gr.

Dans un plan de second clivage du gypse des environs de Gotha, qu'on avait poli, on obtenait la première raie visible avec la pointe d'acier, en chargeant le plateau d'un poids de 1.5 gr.

Dans les expériences qui furent faites avec des cristaux plus durs, la pointe d'acier étant ordinairement usée, on l'aiguisait tous les jours avant les expériences, de manière à ce que le plan du clivage le plus facile du gypse des environs de Gotha donnât une raie avec la charge de 0.7 gr., pour être assuré qu'on employait toujours la même pointe d'acier[1].

Spath calcaire lamelleux. — Les expériences ont été faites dans un plan de clivage facile à renouveler, à obtenir très-poli et dans lequel la différence de résistance dans différentes directions est si grande qu'il n'était pas nécessaire d'employer le deuxième instrument.

1. Je dois faire remarquer, en passant, que les nombres donnés dans la note de la page 6, comme les résultats de huit expériences ne s'accordent pas, par suite d'une erreur typographique, sans doute, avec les nombres de la table générale.

Avec le premier, en employant le cône d'acier et en partant de l'angle obtus du rhomboèdre vers l'angle aigu opposé (ce sens étant pris comme 0° des divisions), M. Franz trouva la plus grande dureté dans la petite diagonale, et la plus faible, dans le sens opposé (180°). Dans la grande diagonale, il obtint la même dureté dans les deux sens. — Les résultats obtenus sont reproduits par la table suivante:

Directions.	Poids.	Directions.	Poids.
0°	12.87 gr.	105°	6.75 gr.
15°	12.25 »	120°	6.80 »
30°	11.12 »	135°	6.10 »
45°	9.87 »	150°	5.20 »
60°	9.17 »	165°	3.90 »
75°	8.87 »	180°	3.50 »
90°	7.50 »		

C'est un spath d'Islande qui a donné ces résultats.

Dans d'autres spaths lamelleux, on a obtenu le maximum et le minimum de la dureté dans les directions 0° et 180°, mais avec des poids différents. Ainsi un spath des environs de Brillon (Westphalie) a donné:

Maximum de dureté	13.5 gr.	(0°)
Minimum	5.5 »	(180°)
Grande diagonale	8.0 »	(90°)

Un spath d'Islande plus dur encore a donné:

0°	15.2 gr.
90°	10.5 »
180°	7.0 »

Ces résultats ne sont pas d'accord avec ceux de M. Frankenheim, qui trouve bien le minimum de dureté du spath d'Islande dans la direction 180°, mais qui obtient la plus grande dans la direction de la grande diagonale (90°).

L'auteur, afin de pouvoir affirmer ses conclusions contre M. Frankenheim, a imaginé l'expérience ingénieuse suivante:

Il fixe le spath à la table de telle sorte que la pointe décrive un cercle lorsqu'on fait tourner la table avec le cristal, puis, chargeant le plateau avec un poids suffisant, il fait tourner le cristal d'une circonférence entière. (Planche II, fig. 3.)

La pointe forme une raie qui occupe près des deux tiers de la circonférence et qui a, d'une extrémité à l'autre, des largeurs variables. En étudiant cette raie, on reconnaît que la largeur la plus grande répond à la tangente à la raie menée parallèlement à la petite diagonale de l'angle aigu à l'angle obtus. La raie manque dans la partie opposée, et enfin, elle est très-peu large dans la direction parallèle à la grande diagonale.[1]

Si cette expérience permet de suivre, pour ainsi dire du regard, les différences de la dureté à la surface d'un cristal, il arrive, malheureusement, qu'elle est impossible à réaliser pour bon nombre de cristaux, dont les dimensions sont trop faibles.

Fluorure de calcium (*spath fluor*) du Devonshire. — Les plus petites différences de dureté semblent se manifester sur les faces de l'octaèdre; mais sur les faces du cube, en employant le deuxième instrument, la dureté la plus faible répond aux diagonales, la plus forte, à la direction parallèle aux arêtes.

Apatite. — Les résultats furent incertains, parce qu'on ne put tailler le cristal perpendiculairement à l'axe, c'est-à-dire parallèlement au plan de meilleur clivage; le cristal parut toutefois plus mou dans la direction de l'axe, plus dur, au contraire, parallèlement au plan de plus facile clivage, sur les faces latérales du prisme hexagonal.

Feldspath. — Les cristaux employés étaient si raboteux et si friables qu'il ne fut pas possible de les polir; avec des échantillons très-denses, on ne trouva pas de différences dans la dureté.

---

1. Si l'on admet la justesse des observations que j'ai présentées, p. 39, on ne peut se rendre compte de cette expérience qu'en supposant que le mouvement de rotation du cristal a influé sur l'enfoncement de la pointe, la relevant quand la résistance tangentielle augmentait, la laissant descendre à une plus grande profondeur, quand cette dernière diminuait.

Quartz. — On a remplacé, pour le quartz, la pointe d'acier par la pointe de diamant, quoique les expériences soient alors beaucoup plus sujettes à erreur; il est nécessaire, en effet, dans ce dernier cas, que le plan du cristal sur lequel on veut expérimenter, soit parfaitement horizontal, et que la pointe du diamant soit toujours perpendiculaire à la surface, parce que le moindre changement, sous ce rapport, donne les plus grandes différences.

L'horizontalité de la surface a été constatée à l'aide d'un niveau à bulle d'air; la plus petite dureté a été trouvée parallèle à l'axe: en chargeant, en effet, le plateau (A) du deuxième instrument d'un poids de 200 gr., on trouva que le mouvement se produisait parallèlement à l'axe ou dans la direction 0°, par un poids de 33.5 gr. et dans la direction 90° par un poids de 17.45 gr.

On ne trouva pas de différence dans les faces du rhomboèdre primitif. Les cristaux venaient de Silésie ou de diverses parties de la Suisse.

Topaze. — Comme on opérait sur de très-petits échantillons, il était difficile de placer bien horizontalement la surface à explorer. Cependant les expériences montrent que les faces du prisme (prisme rhomboïdal droit) sont moins dures dans la direction parallèle à l'axe du cristal, et plus dures dans celle qui lui est perpendiculaire, et que le plan qui présente le clivage le plus parfait et qui est perpendiculaire à l'axe, est moins dur que les faces latérales du prisme.

Coryndon. — On n'a pu constater, dans de bons échantillons de saphir, aucune différence, ni sur les faces différentes, ni pour la même face dans différentes directions[1].

Le *diamant* n'a pu être rayé.

Haüy avait déjà signalé les différences remarquables de dureté que le *disthène* présente sur ses diverses faces; M. Franz

1. Quoiqu'il appartienne au système hexagonal ou rhomboédrique.

a constaté de grandes différences dans une même face, et par exemple, dans la face du clivage principal, qui est parallèle à la grande face latérale du prisme hexagonal, il a trouvé, en employant le premier instrument et une pointe de diamant, et en adoptant comme direction 0°, celle qui est parallèle à l'axe du prisme hexagonal :

Directions.	Poids.	Directions.	Poids.
0°	6.87 gr.	60°	11.17 gr.
15°	8.16 »	75°	12.02 »
30°	9.33 »	90°	13.10 »
45°	10.02 »		

En employant le deuxième appareil, et en chargeant le plateau (A) d'un poids de 30 gr., il obtint :

Pour 0° . . . . . 42.2 gr.
» 90° . . . . . 20.3 »

Les différences dans les sens contraires sont si petites qu'elles ne dépassaient pas les limites des erreurs des observations. Dans les petites faces de la colonne que Haüy appelle les faces latérales, les poids employés pour obtenir les raies limites sont les suivants :

Directions.	Poids.	Directions.	Poids.
0°	12.13 gr.	60°	22.20 gr.
15°	14.33 »	75°	24.17 »
30°	16.14 »	90°	26.30 »
45°	19.35 »		

Les différences de dureté des deux faces sont mises en évidence par ces deux tableaux : elles sont telles d'ailleurs qu'on peut rayer la première surface avec une pointe d'acier et que la deuxième ne se laisse rayer facilement que par la topaze et les corps plus durs.

De ces diverses expériences, l'auteur se croit en droit de déduire les deux lois suivantes :

1° *Sur une face d'un cristal, la direction qui est perpendi-*

culaire à l'intersection de la face, par un plan de clivage, est la moins dure; la direction la plus dure est celle qui est parallèle à ce même plan.

On remarquera que cette proposition n'est autre chose que la seconde loi formulée par M. Frankenheim, et, tout en l'admettant comme probable, on devra avouer néanmoins que les faits sur lesquels elle repose sont, à la fois, trop peu certains et trop peu nombreux.

L'auteur ajoute que, s'il existe deux clivages différents, la plus grande dureté se rapproche de la direction du meilleur clivage. Moins la facilité du clivage est grande, plus s'effacent les différences de dureté; si on n'a pas pu les constater dans la topaze avec sûreté, on a pu cependant les observer, quoique très-faibles, dans le spath fluor et dans le quartz. — Dans les cristaux d'une grande dureté, les différences sont difficiles à découvrir parce que les limites des erreurs d'observation ont plus d'écart et que, sans doute, les différences sont plus petites que dans les cristaux moins durs.

2° *Quand les faces diverses d'un cristal présentent des différences de dureté, la plus dure est celle qui est coupée par le plan de plus facile clivage.*

Si les clivages de même genre ont la même position à l'égard de toutes les faces, il ne peut y avoir de différences de dureté des unes aux autres; dans chaque face, toutefois, il se présentera un maximum et un minimum de dureté, dépendant de la position diverse des plans de clivage.

Dans la deuxième partie de son travail, M. Franz cherche à comparer la dureté des divers cristaux; il a adopté, pour chacun d'eux, les nombres moyens, et, en se servant de son premier instrument, les poids placés sur le plateau ont été choisis de telle sorte que la raie pût s'apercevoir avec une lentille. — Lorsque la face naturelle d'un cristal n'était pas suffisamment unie, on la polissait au tour, circonstance qu'on a eu soin d'indiquer, quand elle s'est présentée. Les observations ont été

faites par un ciel serein, pour que la variation de lumière n'induisît pas en erreur.

Noms des corps.		Cône d'acier.		Pointe en diamant.
Gypse	de Verningerode	1.1 gr.	1.5 gr.	Les différences s'évanouissent.
	de Gotha			
	de Montmartre	2 »		
Spath lamelleux	d'Islande	7.1 »	9 »	*Idem*
	Idem.	10.1 »		
	de Brillon	9 »		
Fluorure de calcium du Devonshire (Poli artificiellement.)			36 »	
Apatite de New-York			163 »	12 gr.
Feldspath	de Silésie	283 »	260 »	21 » } 20 gr.
	du Labrador	236 »		19 »
(Poli artificiellement.)				
Quartz	de Silésie			33 » } 34 »
	de Suisse			35 »
(Poli artificiellement.)				
Topaze	du Brésil			44 » } 43 »
	de Saxe			42 »
(Poli artificiellement.)				
Saphir	du Thibet			} 51 »
	de Chine			
	de Ceylan			
(Poli artificiellement.)				

La pointe d'acier était rayée par la pointe de diamant à l'aide d'un poids de 23 gr.

Aux minéraux types de l'échelle de Mohs, l'auteur en a joint quelques autres :

			Mohs.
Mellite (Artern)	7.5 gr.	(cône d'acier)	2 à 2.25
Diopside	20.5 »	»	5-6
Dioptase (Kirguis)	11.5 »	»	5
Épidote	24 »	(diamant)	6-7
Zircon (Oural)	38.5 »	»	7.5
Tourmaline (Brésil)	39.5 »	»	7-7.5
Beryl (Nertschinsk)	43 »	»	7.5-8

Nous avons déjà dit ailleurs, et nous répétons au sujet de ce tableau, que les résultats qu'il donne ne méritent aucune

confiance, si on veut les prendre comme expressions des rapports de la dureté des cristaux, parce qu'il y a des inégalités de pouvoir réfléchissant de l'un à l'autre, qui ne permettent pas de regarder les dernières raies visibles comme étant de même largeur. — De plus, pendant une série d'expériences il est difficile d'admettre que la lumière qui éclairera le cristal, gardera la même intensité; et enfin, l'emploi d'une loupe et l'appréciation d'une dernière raie visible me semblent des circonstances défavorables, parce que les yeux des divers observateurs sont loin d'avoir la même sensibilité.

Vicat, à qui on doit des travaux si importants sur les chaux hydrauliques, avait imaginé, pour apprécier la dureté des bétons, des ciments et des mortiers, un appareil que l'on ne peut considérer comme un instrument de précision, et dont je crois néanmoins devoir dire quelques mots:

Vicat laissait tomber (Pl. I, fig. 2.) d'une hauteur invariable, un cône d'acier trempé, chargé d'un poids, et muni, par le haut, d'une tige, qui, s'engageant dans deux traverses horizontales, servait à le guider et à maintenir son axe vertical. — La tige étant divisée sur une petite longueur, l'enfoncement de la pointe, dans les cylindres du béton soumis à l'expérience, pouvait être apprécié par le déplacement des divisions de la tige le long d'un index fixe placé sur l'une des traverses, et permettait dès lors, selon Vicat, de comparer leurs duretés.

L'aiguille d'acier avait 40 millim. de longueur, 3.2 millim. de diamètre à la base, 1.66 millim. de diamètre au sommet. Le poids du cône d'acier, du cylindre de métal qui le chargeait et de la tige qui servait à le guider était de 996 gr., et la hauteur de chute habituellement de 50 millim.[1].

Je ne veux pas m'arrêter à discuter les causes d'erreur d'un appareil, qui n'a été proposé ou employé qu'à titre d'essai, et

1. Salleron, *Notice sur les instruments de précision*. Paris, 1861, p. 79.

dont on remarquera l'analogie avec l'appareil de Muschenbroek; je ne puis, toutefois, me dispenser de faire remarquer que les conditions de son emploi permettent de supposer que, non-seulement la limite d'élasticité est atteinte, mais que la résistance à la rupture est ordinairement dépassée[1].

J'ai vu récemment à la fonderie de canons de Strasbourg un appareil analogue au précédent, qui était destiné à apprécier la dureté des bronzes, et qu'on a abandonné depuis longtemps. Cet appareil consistait en un marteau terminé par une pointe, formant le petit bras d'un levier, dont le grand bras était une aiguille se mouvant sur un cadran. Le marteau tombait d'une hauteur constante sur la lame employée; la pointe s'y enfonçait plus ou moins, et l'aiguille permettait de mesurer cette pénétration, d'où on déduisait quelques indications relatives à la dureté des bronzes essayés.

MM. Crace-Calvert et Richard Johnson ont fait des expériences sur la dureté des métaux et des alliages qui ont été consignées dans les mémoires de la Société philosophique et littéraire de Manchester pour 1858[2].

Je dois faire connaître, avec d'autant plus de soin, l'appareil dont ils se sont servis, qu'il présente quelque analogie avec l'un de ceux que j'ai employés et que j'avais fait construire sans avoir connaissance de leur travail. — Leur instrument (Planche I, fig. 3) consiste en un levier avec contrepoids, B, et un plateau, C, sur lequel des poids peuvent être successivement placés. — Une pièce, L, qui fait corps avec le levier, porte sur un prisme à base carrée qui passe à travers des supports fixes, E. Le prisme est divisé en a, sur l'un de ses côtés, en millimètres, et porte à son extrémité in-

1. On devra d'ailleurs remarquer que l'action exercée sur un corps, par une pointe, doit différer beaucoup, selon qu'elle est animée d'une vitesse acquise quand elle vient à toucher le corps, ou simplement posée sur lui; les deux cas sont à étudier.

2. 2e série, XVe vol., p. 113.

férieure un tronc de cône en acier, F, dont la hauteur est de 7 millimètres, dont la base supérieure a 5 mill. et la base inférieure, qui repose sur la lame à essayer, a 1.25 mill. de diamètre. — La lame de métal, Z, se place sur une pièce parallélipipédique solide, en fer, G. — Le support du levier, W, s'abaisse ou s'élève au moyen d'une vis et de l'écrou, M, et on peut, à un moment donné, faire appuyer le levier sur la fourchette I, et sur le support de l'écrou. — La dureté est mesurée, d'après les auteurs, par la charge exprimée en livres anglaises qu'il fallait appliquer au plateau C, pour que la pointe s'enfonçât, dans l'espace d'une demi-heure, de 3.5 mill. dans la lame du métal soumis à l'expérience. — En regard des nombres obtenus pour les divers métaux et les alliages, ils ont donné la dureté rapportée à celle de la fonte grise du Staffordshire (à l'air froid), représentée par 1,000.

Un résultat n'était jamais accepté sans qu'on eût fait au moins deux expériences se correspondant assez pour ne présenter qu'une différence de *quelques* livres[1]. — Le mémoire ne dit pas si les métaux employés étaient recuits, fondus ou soumis à quelque opération mécanique préalable qui a pu modifier plus ou moins l'état de la surface. Je me borne à donner ici le tableau relatif aux métaux et je renvoie, pour la dureté des alliages, au mémoire cité ou au *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*[2], où M. Ch. Laboulaye a donné tous les résultats obtenus par MM. Crace-Calvert et Johnson :

Métaux.	Poids employés.		Dureté rapportée à celle de la fonte, représentée par 1,000.
Fonte grise du Staffordshire. .	4,800 liv. angl.	2,176.32 kil.	1,000
Acier	4,600 »	2,085.64 »	958
Fer forgé	4,550 »	2,062.97 »	948
Platine.	1,800 »	816.12 »	375
Cuivre (pur).	1,445 »	655.16 »	301

1. Ceci me semble difficile à concilier avec les nombres du tableau, en livres anglaises, terminés presque partout par un ou deux zéros.

2. Paris, Lacroix, 1861. Pages 165-167.

Métaux.	Poids employés.				Dureté rapportée à celle de la fonte, représentée par 1,000.
Aluminium	1,300	liv. angl.	589.42	kil.	271
Argent (pur)	1,000	»	453.40	»	208
Zinc *Id.*	880	»	393.99	»	183
Or *Id.*	800	»	362.72	»	167
Cadmium *Id.*	520	»	235.77	»	108
Bismuth *Id.*	250	»	113.35	»	52
Étain *Id.*	130	»	58.94	»	27
Plomb *Id.*	75	»	34.00	»	16

L'idée de MM. Crace-Calvert et Johnson, de déterminer la dureté par la charge à employer pour enfoncer un même style à une profondeur constante, me paraît bonne. Mais je crois que le mode d'expérimentation, adopté par eux, laisse à désirer: 1° parce que, pour les corps durs, à la profondeur de 3.5 mill., la résistance à la rupture doit être dépassée souvent, tandis que la limite d'élasticité seule est atteinte, pour les corps mous; 2° parce que la dureté, pour bon nombre de corps, ne doit pas être la même à différentes profondeurs au-dessous de la surface, et que ce qui paraît important à connaître, dans bien des cas, est la dureté *normale* superficielle.

J'ajoute qu'ils ont omis ce que j'appelle la dureté *tangentielle*, qui est mise en jeu aussi souvent que l'autre dans les divers procédés des arts et dont il est aussi utile de trouver la valeur[1].

Il a été publié en 1861, sans indication aucune, une brochure sous ce titre: *Expériences sur la dureté des métaux.*[2] — Ce travail n'est autre chose qu'une traduction fort imparfaite d'un rapport américain sur la dureté des bronzes et des fers qui servent à la fabrication des canons.

Si j'ai bien compris l'auteur, il fait pénétrer dans le métal à essayer, sous une charge constante de 10,000 livres, (3,732.42 kil.), une pyramide d'acier trempé d'une hauteur de 1 pouce (25.4 mill.), et qui a pour base un losange dont la

1. Elle sera définie plus loin.
2. Paris, Corréard, 1861. 1 broch. in-8°, avec planche.

grande diagonale a 1 pouce (25.4 mill.), de long et la petite 0.2 pouce (5.08 mill.).

Les expériences faites avec le fer le plus doux montrent que la pyramide y pénètre complétement sous la charge indiquée; partant de là, et prenant comme unité la dureté du fer doux, l'auteur admet que pour les divers métaux, bronzes, aciers, fontes, essayés, les duretés varient en raison inverse des volumes dont la pyramide s'enfonce dans chacun d'eux; mais ces volumes peuvent être appréciés sans difficulté, par la mesure de la longueur de la grande diagonale du losange qui forme l'empreinte de la pyramide dans chaque cas. — Si D est la dureté du métal essayé, d celle du fer qu'on peut prendre comme unité, et l la longueur de la grande diagonale du losange qui forme l'empreinte sur le métal à essayer, on aura $\frac{D}{d}=\frac{10^2}{l^2}$, en prenant, comme l'a fait l'auteur, le $^1/_{10}$ pouce pour l'unité à laquelle l est rapporté.

Je renvoie, pour les nombres obtenus, au mémoire lui-même. Je signalerai encore quelques recherches faites par M. Daelen sur la dureté des rails, recherches *qui consistaient à enfoncer un même corps dur à la même profondeur dans les métaux essayés.* — Je n'en connais l'existence que par l'indication qui en a été donnée par M. C. L. Müntz, dans son *Étude de l'influence exercée sur la durée des rails, par la forme du profil et principalement par celle de la surface d'adhérence*, autographiée en 1861.

En terminant cet exposé des travaux entrepris sur la dureté des corps, il convient de citer le résumé qui a été présenté des recherches de Seebeck, de M. Frankenheim et de M. Franz, dans le savant *Traité de minéralogie* de M. Delafosse[1], et l'*Histoire de la minéralogie* par M. F. de Kobell[2].

1. Delafosse. *Nouveau Traité de minéralogie.* Librairie encyclopédique de Roret, tome Ier, p. 330 et suivantes.

2. Franz von Kobell. *Geschichte der Mineralogie*, von 1650 bis 1860. — München, Cottasche Buchhandlung, 1864, pages 84 et 271 à 274.

J'emprunte à ce dernier et remarquable ouvrage, paru pendant l'impression de mon travail, quelques indications destinées à compléter cette introduction; il ne m'a pas été possible de les développer, parce que le temps, et les mémoires originaux cités par l'auteur, m'ont également fait défaut.

Je me borne donc à rappeler :

1° Que Bergmann parle de la dureté dans son traité *De terrâ gemmarum* et note le spinelle comme étant rayé par le saphir et par la topaze, et la chrysolithe par le cristal de roche;

2° Que Panssner a fait quelques recherches sur la dureté (Saint-Pétersbourg, 1813) en rayant des lames métalliques;

3° Que Krutsch a employé les pointes métalliques pour rayer les corps (*Mineralogischer Fingerzeig*. Dresden, 1820);

4° Que Grailich et Pekarek ont imaginé un *scléromètre* pour trouver la dureté (*Wiener Akademie*. B. XIII. 1854);

5° Que A. Kenngott a cherché à établir que, pour les espèces minérales isomorphes de combinaisons homologues, la dureté varie proportionnellement au poids spécifique relatif et en raison inverse du volume atomique (*Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt*. 3ter Jahrgang, 1852).

Je regrette aussi de n'avoir pas eu sous la main les tomes XLIII et XLVII du *Journal de Schweigger*, où sont consignés, selon M. Frankenheim, des faits, d'une apparence paradoxale, concernant la dureté.

présenteront-ils la dureté? Ils se rapportent évidemment à une résistance parallèle à la surface entamée, à ce que l'on peut nommer la dureté tangentielle qui peut être très-différente de la dureté normale, non-seulement en valeur absolue, mais en valeur relative; il importe donc de distinguer nettement ces deux duretés.

J'ajoute qu'il peut arriver pour un même corps cristallisé que, la dureté normale restant constante, la dureté tangentielle varie suivant la direction que prendra la pointe sur la même face d'un cristal.

Seebeck et M. Franz ne se sont pas occupés à étendre leur définition aux corps non cristallisés.

La définition de la dureté donnée par l'auteur américain des *Expériences sur les fers et les bronzes destinés à la fabrication des canons,* repose, comme on l'a vu, sur le volume de l'empreinte (*indentation*) laissée sur le métal par une pyramide quadrangulaire d'acier trempé; les duretés pour deux métaux ou deux alliages, sont en raison inverse des volumes des empreintes produites par la même charge. Cette définition est nette, précise et permet sans aucun doute des déterminations de la dureté assez exactes. Mais elle a deux inconvénients: elle me paraît ne pas tenir compte du rapport qui existe entre la dureté et l'élasticité, et de la possibilité de rattacher, dans un avenir plus ou moins éloigné, la première à la seconde; pour qu'il puisse en être ainsi, il faut, en définissant la dureté, se placer dans les conditions les plus simples possibles; c'est ce qui n'arrive pas pour les expériences américaines. En second lieu, ce procédé paraît peu applicable aux corps durs et aux cristaux. — Quant à la dureté tangentielle, qui est mise en jeu dans bien des circonstances, et particulièrement dans le mouvement du boulet dans l'âme d'une pièce de canon, il n'en est pas question ici.

J'ajoute que, comme le procédé d'expérimentation n'a pas été indiqué dans la traduction française, du moins, il est

assez difficile de savoir le degré de confiance qu'on peut accorder aux nombres obtenus[1].

Il me reste à examiner la marche suivie par MM. Crace-Calvert et Johnson. Leur manière de représenter la dureté consiste à enfoncer un même style à une profondeur constante de 3.5 mill. sous l'influence de charges convenables, et à prendre, pour rapport des duretés, les rapports de ces charges elles-mêmes.

Sans doute, si l'erreur commise sur la mesure de la longueur dont la pointe s'enfonce, peut être relativement faible, si les poids sont déterminés exactement, et s'il ne se produit pas d'erreur due au frottement, ou si on peut en tenir compte, la dureté ainsi définie pourra être obtenue exactement.

Mais nous avons à faire ici des réserves analogues à celles qui concernent le procédé américain et, eu égard aux accidents de rupture, fréquents dans les expériences des auteurs anglais, une objection spéciale.

Lorsqu'une pointe conique terminée par un cylindre ou une calotte sphérique de petit diamètre pénètre à une petite profondeur, eu égard aux dimensions d'une lame, au-dessous de sa surface, la réaction se manifeste sur tous les points touchés et s'étend en s'affaiblissant aux points de la masse de la lame situés à une certaine profondeur et latéralement à une certaine distance. — Au delà d'une certaine limite on peut admettre qu'il n'y a plus de changement appréciable dans l'état moléculaire de la masse. Mais lorsque la profondeur à laquelle s'enfonce la pointe est considérable, si l'épaisseur et la masse de la lame ne sont pas très-grandes eu égard à l'enfoncement, la masse tout entière peut être soumise à des modifications moléculaires résultant des pressions exercées sur une partie de sa surface, et selon l'élasticité de la matière, l'état de la

1. Ces nombres me paraissent d'ailleurs inexactement reproduits; c'est pour ce motif que je me suis abstenu d'en rapporter quelques-uns dans l'introduction.

masse sera très-différent d'une lame à l'autre et par conséquent les résultats difficilement comparables, à moins d'employer des masses très-grandes des corps soumis aux expériences, de manière à éviter les ruptures qui se sont produites dans les expériences des auteurs.

Je crois avoir évité cet inconvénient dans les expériences dont il sera question plus loin; néanmoins je dois avouer que pour certains métaux, l'antimoine par exemple, j'ai obtenu des ruptures, non de la lame, mais de ses parties superficielles; dans des cas de ce genre, on cherchera à parvenir à la limite d'élasticité, sans atteindre le point de rupture.

Après avoir passé en revue les définitions de la dureté données jusqu'à présent, il me reste à dire le sens que je me propose de donner à ce mot; ce sens doit être tel que, sans contrarier les idées reçues, il offre plus de netteté et le moyen de trouver par expérience la valeur de la chose définie.

La dureté est évidemment liée à une propriété connue et étudiée dans un certain nombre de corps, je veux parler de l'*élasticité;* mais ce qu'il importe de remarquer, c'est que l'idée qu'on s'en est faite répond le plus souvent à la limite d'élasticité, quelquefois à celle de rupture ou à l'une et à l'autre à la fois.[1]

C'est en agissant sur une surface, par une pointe, une lame tranchante ou l'angle d'un cristal, pour y produire un trou ou une raie, qu'on a, par la résistance éprouvée, apprécié la dureté.

Le trou ou la raie qu'on obtient peuvent indiquer, selon leur apparence pulvérulente ou non sur les bords, que la limite d'élasticité a été dépassée sans qu'il y ait eu rupture, ou que les molécules, au lieu de rester adhérentes, se sont séparées, au moins partiellement, et qu'il y a eu rupture. — Ces deux cas doivent être distingués avec soin, comme on le fait dans les recherches sur l'élasticité.

---

1. Il est question ici de l'élasticité de compression et de l'élasticité de flexion.

En y réfléchissant, on s'apercevra facilement que les qualités des métaux et des alliages dépendent à la fois et de la grandeur de la limite d'élasticité et de la distance plus ou moins grande qui existe entre cette limite et leur résistance à la rupture. — Mais il est beaucoup de corps qui nous intéressent à plusieurs titres, les bois, les matériaux de construction, les cristaux et en général tous les corps qu'on ne peut étirer en fils, qui échappent aux recherches ordinaires de l'élasticité.

Il s'agit donc de trouver pour ces corps, avec une même pointe : 1° La pression qui répond à un enfoncement tel que la limite d'élasticité ne soit point atteinte. — On prendra ici, comme dans les expériences d'élasticité de traction, le rapport de la pression à l'enfoncement, et on verra si ce rapport varie pour des valeurs diverses de l'enfoncement.

2° L'effort nécessaire pour arriver à la limite d'élasticité ; celle-ci sera obtenue lorsqu'une pointe ou un corps anguleux, successivement pressé sur un plan, arrivera à une position à partir de laquelle il ne sera plus ramené à son point de départ, si la force comprimante l'abandonne. On déterminera la profondeur à laquelle le style s'est enfoncé et la pression exercée au moment où on a atteint la limite d'élasticité.

3° La pression nécessaire pour arriver à la rupture, en notant les mêmes données de l'expérience.

Quant aux valeurs obtenues dans ces trois cas, elles dépendront de la forme et des dimensions du corps pénétrant, et il conviendra, en général, pour une série de corps à entamer, que la pointe soit la même et que sa forme soit aussi simple que possible, sphérique ou cylindrique et de très-petit rayon, sauf à étudier l'influence de la variation de celui-ci.

Des recherches sur les métaux devront être entreprises d'abord, parce qu'elles permettront de rapprocher les résultats obtenus de ceux qui proviennent de l'élasticité par traction ou de l'élasticité par flexion, et de voir s'ils seraient numériquement comparables.

Un appareil qui sera décrit plus loin[1] donnera le moyen de reconnaître, par une suite d'essais, le moment où une pointe chargée de poids successifs revient encore à sa position primitive, quand elle en est débarrassée, ou celui où elle n'y revient plus, et quant à la limite de rupture, elle pourra être déterminée par le bruit appréciable pour l'oreille, qui y répond. Dans chacun des trois cas, pour un même corps et une même pointe, on devra noter la pression et l'enfoncement. J'ajoute qu'on devra faire la même recherche pour la résistance tangentielle dans les mêmes cas.

Après avoir exposé la marche qui me paraît devoir être suivie dans l'étude de l'élasticité à la surface des corps, j'arrive à la définition de la dureté que j'ai adoptée et qui m'a semblé répondre le mieux à l'idée qu'on s'en était faite.

Comme il est facile de le prévoir, j'ai distingué deux cas :

La *dureté normale* d'un corps est la résistance qu'il oppose à l'enfoncement d'une même pointe perpendiculaire à sa surface, à une même profondeur qui dépasse la limite d'élasticité sans atteindre la rupture.

La *dureté tangentielle* d'un corps est la résistance qu'il oppose au déplacement d'une même pointe enfoncée à une même profondeur, dépassant la limite d'élasticité sans atteindre la rupture.

La profondeur que j'ai prise, pour la dureté *normale* des métaux et des alliages, que j'ai seule déterminée dans ce travail, est de 0.1 mill. — Ce sera celle que je prendrai pour trouver plus tard les duretés tangentielles. Il va sans dire que lorsque, pour certains corps très-durs, cette profondeur se trouvera trop forte, on lui substituera 0.01 mill., sauf à trouver par les corps de duretés intermédiaires le moyen de rattacher la dureté des corps très-durs à celle des corps qui le sont beaucoup moins.

---

1. Planche V.

La première définition que je viens de donner est analogue à celle de MM. Crace-Calvert et Johnson; mais je crois que la limite de profondeur qu'ils ont adoptée (3.5 mill.), entre autres inconvénients graves, présente ceux: 1° de confondre souvent dans une même détermination la limite d'élasticité et celle de rupture; 2° pour les corps très-nombreux qui ne sont point homogènes de la superficie au centre, de donner une moyenne de la dureté de la surface et de celle des parties profondes; 3° de donner lieu à un frottement difficile à apprécier de la pointe contre la surface latérale du trou.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer que toutes les circonstances qui influent sur l'état physique des corps et qui font varier leurs autres propriétés, feront varier la dureté. — Ainsi l'écrouissement, le laminage, le martelage, le poliment, la trempe, le recuit, les variations de température influeront sur elle.

Il faudra même s'attendre à trouver, en général, sur les divers points de la surface des corps, des duretés différentes, comme on y trouverait des densités différentes, si on pouvait y déterminer autre chose que des densités moyennes.

Les premiers essais que j'ai faits sur la dureté *tangentielle* sont insuffisants, parce que la dureté normale m'était inconnue; j'ai pensé devoir toutefois consigner dans ce travail quelques-uns des nombres que j'ai obtenus, parce qu'on peut en tirer des conséquences qui ne manquent pas d'intérêt.

On verra comment j'ai obtenu la dureté normale des métaux et des alliages sur lesquels j'ai opéré.

L'appareil que j'ai employé dans ce but[1], est, il est vrai, un instrument provisoire qui m'a forcé à modifier la définition que j'ai donnée plus haut; la *dureté normale* que j'ai trouvée est la résistance opposée par un corps à l'enfoncement d'une même pointe perpendiculaire à sa surface, à une profondeur

1. Planche V.

qui, dépassant la limite d'élasticité sans atteindre la rupture, reste constante et égale à 0.1 mill. après l'enlèvement de la charge. Mais à l'aide d'un appareil que j'ai décrit[1] et dont la construction est à peine terminée, j'arriverai à des résultats d'accord avec la première définition.

Il est presque inutile d'ajouter que, pour faire une étude complète du sujet, il faudrait, pour une même pointe, chercher les résistances offertes par les divers corps à d'autres profondeurs et dresser, pour chacune de ces profondeurs, le tableau de ces résistances, ainsi que le tableau, pour un même corps, des résistances qu'il présente à diverses profondeurs.

Des expériences analogues se feront en modifiant les pointes pour connaître exactement l'influence de leur forme et de leurs dimensions.

1. Planche IV.

CHAPITRE III

Appareils.

Parmi les appareils que j'ai employés, quelques-uns m'ont donné des résultats variables ou incertains; je les passerai sous silence. J'en décrirai trois: l'un, relatif à la détermination de la dureté tangentielle, que j'ai employé d'abord, et qui, je crois, pourra être utile, quand on connaîtra la dureté normale; le second, destiné à donner la dureté normale avec quelque précision, lorsqu'on aura, pour se guider et pour étudier l'appareil lui-même, des résultats dont le sens sera certain; le troisième enfin, destiné à faire connaître les duretés normales, non avec une grande exactitude, sans doute, mais de manière à fournir des points de repère pour étudier le second.

Les corps mous présentent une difficulté spéciale, qu'il importe de signaler. Chez eux, le temps est, pour ainsi dire, un des éléments de la détermination. Lorsqu'on vient à apprécier les variations de l'enfoncement sous une certaine charge, avec le temps, on trouve que, pour certaines pointes, les valeurs ne s'accroissent pas de 0.01 mill. en une heure pour les corps durs; pour les corps mous, au contraire, comme le plomb ou l'étain, il en est autrement; les variations en une heure peuvent aller de 0.1 mill. à 0.2 mill. et plus, c'est-à-dire de une à deux fois la profondeur qui doit servir à la détermination de la dureté. On conçoit dès lors que le temps est un élément qu'on ne peut négliger, qui peut donner lieu à quelque embarras, à moins qu'on ne le fixe pour les corps mous, ou qu'on ne prenne le temps, après lequel, il n'y a plus de variation sensible dans la position du style pour tous les corps, temps très-faible pour les corps durs et allant successivement en croissant pour les corps mous. Le premier de ces appareils m'a conduit au second, celui-ci au troisième, et l'expérimentation devra me ramener du troisième au premier.

Premier appareil. — Le premier instrument (Planche III) que j'ai employé, présente quelque analogie de forme avec le tribomètre de Coulomb. — C'est un chariot légèrement suspendu, formé par un châssis en bois reposant sur des essieux en fer portant des roues en laiton. Ce chariot est placé sur un plan de marbre bien poli et y a une grande mobilité. — Le châssis porte en son milieu deux colliers cylindriques assez longs, en laiton (5, 5), dans lesquels s'engage à frottement très-doux une tige en bois, pesant 53.70 gr. et qui doit rester verticale; cette tige se termine dans le haut par un disque en bois destiné à recevoir des poids, dans le bas par une pièce en métal, cylindrique et creuse, qui porte une vis de pression, et doit recevoir et maintenir solidement la queue d'un diamant de vitrier, d'un diamant à graver le verre, ou d'une pointe conique en acier (6). Le diamant de vitrier que j'ai employé pèse avec sa garniture, 2.30 gr. — La tige verticale en bois peut, du reste, être remplacée par une tige en laiton pesant 26.21 gr.

Il est indispensable que, pendant le mouvement de la pointe sur la lame à essayer, la tige qui la supporte n'ait pas de mouvement de rotation, tout en pouvant se relever librement dans le sens vertical; dans ce but, le collier inférieur porte au-dessus de lui une petite lame en laiton, de forme cylindrique présentant une fente parallèle à l'axe du collier, et dans laquelle peut se mouvoir, sans frottement marqué, une goupille fixée invariablement à la tige en bois ou en laiton. (Planche VI, fig. 1.) On sera sûr, par là, que dans les diverses expériences faites avec la même pointe, celle-ci se présentera toujours aux diverses lames de la même façon; ce qui est surtout important, pour les pointes en diamant, qui, comme on le sait, sont fort irrégulières et pourraient, par cela même, en se présentant aux lames sous des faces diverses, donner lieu à des raies de largeurs différentes, qui dès lors ne permettraient plus une comparaison exacte de leurs duretés.

Le châssis porte en avant sur la branche supérieure en

(8, C), ou sur la branche inférieure en (8, D) un crochet d'attache pour un cordon qui vient s'enrouler sur une poulie fixée en A ou en B et se terminer par un plateau en laiton (10) pesant avec ses quatre cordons 4.37 gr. ou un plateau en bois pesant avec ses quatre cordons 70.23 gr. Le cordon qui relie le chariot aux plateaux pèse avec un petit anneau 0.5 gr. La table de marbre porte deux pinces (2) dont l'une est à ressort, qui doivent maintenir les lames diverses qu'on veut soumettre à l'expérience. — La table a des vis calantes à sa partie inférieure, de manière à la rendre horizontale et, par suite, le style vertical. — Les lames qui s'appuient sur la table et qu'on a dressées avec soin, ont leur face supérieure sensiblement horizontale[1].

Deuxième appareil. — Cet instrument (Planche IV) repose sur l'emploi d'une vis micrométrique, pour la détermination de la dureté normale.

Il se compose d'une table en bois (1) sur laquelle repose une table en marbre avec sa garniture (2), portant trois vis calantes qui s'engagent dans des cuvettes en laiton fixées dans la table en bois. Ces vis calantes servent à obtenir l'horizontalité de la table de marbre et la verticalité de la vis qu'elle porte.

Une fois cette horizontalité réglée, on retient, à l'aide de deux bras en bois (3) et de quatre brides en fer, la table de marbre à la table en bois, pour éviter que, dans l'emploi du levier dont il sera question plus loin, la table de marbre ne puisse basculer sur la table en bois.

La table de marbre (2) porte deux supports en bois[2] de chêne sur lesquels se trouve maintenu solidement, à l'aide de tringles en fer fortement boulonnées et descendant sous elle, un châssis en laiton (4), portant à sa partie supérieure un écrou traversé par une vis en acier, de 1 mill. de pas et de 12 mill. de diamètre. Cette vis se termine par une tête (A) de

1. Il sera préférable toutefois de disposer, sur la table de marbre, une tablette à vis calantes qui permette de rendre les lames exactement horizontales.

2. Il serait préférable de les avoir en fer.

100 mill. de diamètre, formant poulie sur sa périphérie et pouvant recevoir par quatre trous, creusés à 90° l'un de l'autre sur sa gorge, et formant écrou, deux boutons terminés en vis, auxquels sont fixés des cordons qui s'enroulent, sur une partie de la tête, puis viennent passer horizontalement sur deux poulies verticales soutenues par deux montants (1' 1') fixés à la table en bois et aboutissent, chacun, à un plateau en cuivre ou en bois. — Au-dessous de ces plateaux se trouvent des supports en bois[1], mobiles à l'aide de vis, qui permettent de faire agir les poids placés dans les plateaux, graduellement et sans secousse. — La vis micrométrique ne reçoit pas immédiatement, par sa partie inférieure, les pointes qui doivent agir sur les lames; il y aurait eu, en effet, un inconvénient grave, surtout pour les pointes irrégulières comme les pointes de diamant, à faire tourner la pointe autour de son axe, pendant qu'elle s'enfonce dans une lame; la vis a donc été terminée par une gorge dans laquelle s'engage une pièce cylindrique très-solide (6) qui est liée à deux branches parallèles à l'axe de la vis et dirigées latéralement par les bords d'un châssis fixe[2]; ces branches, en se réunissant, aboutissent à un fort cylindre en laiton (11) placé sur le prolongement de la vis et dans lequel on engage par une queue dont une partie formant angle dièdre ne permet pas de rotation de la pièce, la pointe qui doit servir aux expériences; la queue est d'ailleurs maintenue à l'aide d'une vis de pression. Quant au cylindre lui-même, pour qu'il ne puisse éprouver de déviation, il s'engage dans un collier (5') fixé au châssis. — Au-dessous de la vis et dans des cuvettes en laiton enchâssées dans la table en marbre, se trouvent posées trois vis calantes portant une tablette en laiton (Planche VI, fig. 5) sur laquelle les lames doivent être placées (8). Cette table porte un talon fixe et un talon mobile à ressorts (10) servant à maintenir la lame; de plus, sur l'un de ses côtés,

1. Il n'a pas été possible de les reproduire sur la planche.
2. On en voit la coupe Planche VI, fig. 4.

se trouve une vis de rappel avec talon (9) qui permet, lorsqu'une expérience est terminée, et la pointe relevée, de déplacer la lame pour une nouvelle expérience. — Les vis calantes sont engagées dans des écrous à deux pièces; lorsque leur position a été réglée de manière à rendre la lame sensiblement horizontale, on rapproche, à l'aide d'une clef, la branche mobile de l'écrou, de manière à fixer invariablement la position de la tablette sur les vis calantes, et éviter un abaissement de la lame lorsque la pression qu'elle subit et qu'elle transmet au support vient à augmenter.

Il reste, pour terminer cette description, à ajouter qu'une expérience étant faite avec une lame, la tablette peut être enlevée et on peut lui substituer un levier avec son support; ce levier a sa petite branche plane et venant se placer sous la vis; la pointe est alors remplacée par une pièce en fer à tête arrondie, suffisamment forte, qui vient s'appuyer sur l'extrémité (A) (Planche VI, fig. 2); l'autre extrémité (B) du levier reçoit un crochet auquel se suspend un plateau en bois ou en laiton d'un poids plus ou moins considérable selon les charges à employer. — Comme, du reste, le support devra être plus ou moins élevé, selon les cas, on a employé des cales en fer pour obtenir ce résultat; pour qu'il n'éprouve pas de déplacement pendant l'emploi du levier, les deux bords de la table reçoivent, chacun, une forte règle en bois, munie en son milieu d'une vis de pression qui, s'appliquant aux extrémités du support, le maintient solidement.

Troisième appareil (Planche V). — La plupart des expériences, dont on donnera plus loin les résultats, ont été faites avec un levier présentant les dispositions spéciales que nous allons exposer. Je crois devoir rappeler que cet instrument n'a été employé que provisoirement; je pense toutefois que les nombres qu'il fournit, malgré les causes d'erreur qui lui sont inhérentes et que j'aurai soin de faire connaître, sont moins inexacts que ceux, en très-petit nombre d'ailleurs, qui ont été obtenus antérieurement.

Le poids total du levier, l'aiguille en bois qui termine l'un de ses bras y comprise, est de 893 gr. — La longueur totale du levier est de 420 mill., celle de l'aiguille de 800 mill. La distance de l'axe des tourillons à l'entaille de la branche qui reçoit le crochet et le plateau, est de 200 mill.; la distance du même axe à l'extrémité de l'aiguille est de 1 mètre. Le levier présente vers son milieu une partie massive très-solide, de 60 mill. de long, de 25 mill. de large et de 34 mill. de hauteur, dont la majeure partie porte sur la branche opposée à l'aiguille. Cette pièce forme écrou pour une vis en fer, très-solide, de 2 mill. de pas et de 12 mill. de diamètre, terminée dans le haut par une tête en laiton sur laquelle peut se mouvoir librement une aiguille destinée à servir d'index; la vis porte à sa partie inférieure un trou, en partie cylindrique, et formé pour le reste par un angle diédre, dans lequel vient s'engager la queue de pointes coniques ou cylindriques en acier trempé. Une vis de pression sert à maintenir la pointe, et une autre vis de plus grande dimension maintient solidement la vis principale dans son écrou, quand la pointe a été amenée à toucher la surface de la lame dans laquelle elle doit pénétrer; parallèlement à l'axe de la grande vis se trouve fixée sur le bras de levier et près d'elle une réglette (11) en laiton qui sert de repère fixe à l'aiguille dont on a parlé plus haut. — La tête a été surmontée en son centre d'une pointe conique en acier pour pouvoir, au besoin, se servir du cathétomètre pour la mesure de l'enfoncement de la pointe, et pour la vérification des indications de l'aiguille qui se meut sur le cadran. La distance de l'axe de la vis à l'axe du levier est de 20 mill. — La branche du levier porte dans le voisinage de l'aiguille en bois une petite vis avec écrou mobile, placée sous le levier et destinée à l'équilibrer dans la position horizontale. — La tige en bois (6) est terminée par une aiguille en acier qui se meut sur un cadran (Planche VI, fig. 6), divisé en millimètres, répondant à l'axe du levier comme centre et à un mètre de rayon. — Pour éviter

des erreurs de lecture dans l'appréciation de la position de l'aiguille, on a placé sur le cadran une loupe (*b*) mobile sur lui et munie d'un fil micrométrique qui permet de déterminer dans chaque cas exactement cette position. — Le cadran (*c*) a, du reste, été rendu mobile à l'aide d'une vis de rappel (*a*), perpendiculaire à la longueur de la table, parce qu'il arrive quelquefois que, par suite de légères flexions de l'aiguille en bois, l'aiguille d'acier s'écarte du plan du cadran. — L'aiguille n'arrive d'ailleurs qu'au bord du cadran et pour qu'elle se détache mieux, on a doublé le cadran sur son prolongement interne d'une bande de carton blanc. — La table en bois de chêne très-forte qui porte le levier, a 1.10 mèt. de hauteur et 1.40 mèt. de longueur; pour lui donner plus de solidité, elle a reçu, comme on le voit dans la figure, trois jambes de force en fer, dont deux sont parallèles et reliées par une traverse de même métal, et quant à sa forme générale, il est facile de se la représenter. — Elle porte en (8, 8') deux vis, dont l'une (8) sert à arrêter la position du levier qui fait correspondre l'aiguille au zéro du cadran, et dont l'autre (8') est destinée à soutenir le levier quand on vient à accrocher le plateau avec sa charge ou à lui ajouter de nouveaux poids. — Le levier est soutenu par deux montants en fer (3), reliés dans le haut par une traverse (5); les tourillons (2) sont engagés dans des coussinets dont une moitié est formée par la paroi du montant, et l'autre moitié par les pièces arrondies (4) ajustées avec soin et maintenues sur les montants par de fortes vis. — Une tablette en fer, très-solide, qui fait corps avec les montants, est directement boulonnée sur la table en bois et porte à l'une de ses extrémités un talon mobile (17) à ressort destiné à arrêter la lame, et à l'autre extrémité un deuxième talon (15) mis en mouvement par une vis de rappel (14) et permettant d'amener la lame qui doit être soumise à l'expérience dans la position qui lui convient sur la tablette de support.

CHAPITRE IV

Expériences et causes d'erreur.

Premier appareil. — La table de marbre étant placée horizontalement à l'aide des vis calantes, le plateau en laiton, avec cordons d'un poids de 4.37 gr., suffit pour faire marcher le chariot ; quelquefois cependant, il a fallu lui ajouter jusqu'à 2 gr. pour produire le mouvement. Dans le premier cas, on prendra pour mesure de la résistance tangentielle de la surface de la lame, qui répond à la charge particulière du style, le poids placé dans le plateau ; dans le second cas, ce même poids diminué du poids quelconque qui a contribué à produire le mouvement du chariot, alors que la pointe du style ne reposait pas sur la lame. — Une première expérience avec une lame donnée est faite en adaptant au style en bois le diamant de vitrier avec sa coquille et son support ; le poids total du style et de la pointe est alors de 56 gr., on cherchera successivement les poids faisant marcher le chariot avec cette charge, puis, avec une charge double, triple, etc. en chargeant successivement le plateau du style d'un poids de 56 gr., de 112 gr., etc. — On devra faire en sorte, approximativement du moins, que le centre de gravité du système des poids placés sur le style se trouve sur l'axe de celui-ci. — La pointe s'enfonçant plus ou moins dans les différentes lames pour la même charge, l'effort à employer pour déterminer le déplacement du style sur la surface dépendra : 1° de la résistance de la lame, pour une raie dont la section droite serait une unité convenue ; 2° de l'étendue de la section plane du diamant normale à la direction du mouvement, dans la partie de la pointe enfoncée dans la lame. Or, ces deux éléments variant en sens inverse,

puisque la résistance tangentielle doit varier dans le même sens que la résistance normale, et que la pointe doit s'enfoncer d'autant moins, pour la même charge, que la résistance normale de la lame est plus grande, on ne peut, *a priori*, décider quel sera le corps le plus dur de deux corps qui auront exigé, pour le mouvement du chariot, des poids différents.

Dans l'incertitude où nous sommes au sujet des lois relatives aux résistances normales ou tangentielles offertes par des lames, à diverses profondeurs des pointes qui les attaquent, il m'a paru nécessaire de commencer par déterminer les résistances normales. Je dois dire, toutefois, que les expériences que j'ai faites avec cet appareil et qui sont relatives à des corps dont le sens relatif de la dureté normale est bien connu, montrent qu'en général ce sont les corps les plus durs qui donnent les résistances tangentielles les plus faibles pour la même charge, comme on pourra s'en assurer par le tableau, que je donnerai à la suite de ce chapitre, des essais que j'ai faits avec des matières très-diverses.

1° Une des causes d'erreur les plus graves, pouvant donner des résultats variant du simple au triple, est le défaut d'horizontalité des lames; il est indispensable que les lames soient bien aplanies, ce qui présente de sérieuses difficultés, et que, bien planes, on puisse régler leur horizontalité. A cet effet, il faut qu'il y ait sur la table de marbre une tablette en cuivre bien dressée et à vis calantes, qui permette d'obtenir l'horizontalité; je l'ai remplacée provisoirement par des cales en bois ou en métal, dont l'emploi donne lieu à des tâtonnements assez longs.

2° Il est important que les lames soient polies avec soin; car les gerçures, les fentes, les trous sont autant d'obstacles à des expériences précises et constantes; lorsque la pointe y arrive, il faut, pour l'en faire sortir, donner au plateau une surcharge qui n'eût pas été nécessaire sur un plan bien poli. On doit, du reste, remarquer que le poids conve-

nable du plateau est celui qui fait marcher le chariot doucement, lentement et avec une accélération à peine appréciable; on pourra, à l'aide de légères pressions de la main sur le chariot, voir si on approche plus ou moins de la limite cherchée.

Il est possible aussi que, dans certains cas, il y ait d'autres défauts, tels que ceux que les ouvriers appellent des *pailles*, qui peuvent constituer un arrêt de mouvement et exiger une surcharge plus ou moins considérable: aussi, doit-on examiner les raies à la loupe, pour savoir si elles sont égales dans toute leur longueur; les inégalités qu'elles présenteront, expliqueront les inégalités que pourront offrir les valeurs des résistances tangentielles.

Pour les alliages métalliques, il faudra autant que possible choisir des plages qui paraissent homogènes; il m'est arrivé souvent, pour les lames de laiton, d'être arrêté parce que la pointe avait pénétré brusquement dans un trou, très-apparent dans la raie, d'où il fallait un poids considérable pour la faire sortir.

3° Il est indispensable que le style soit perpendiculaire à la lame, et que, par conséquent, la table de marbre soit horizontale dans tous les cas. Il est à peine nécessaire de faire remarquer que le style doit être posé sur la lame avec beaucoup de précaution et que, pour les corps mous surtout, le temps pendant lequel la pointe serait en prise avec la lame avant de commencer les expériences, pourrait, s'il variait d'une manière notable, d'une expérience à l'autre avec la même lame, donner des résultats différents.

4° Le frottement du style dans sa gaîne est une difficulté qui n'est pas toutefois aussi sérieuse qu'on pourrait le craindre; en donnant au style un poids suffisant ou une charge suffisante, on parvient à des traits réguliers et à des résultats constants. Une cause d'erreur, qui pourrait avoir plus d'influence, est la disposition arbitraire des poids sur le plateau du style; le centre de gravité n'étant pas sur la verticale du style, celui-ci tendrait à basculer, et viendrait s'appuyer plus ou moins for-

tement sur les colliers, il résulterait de là une perte d'action verticale qu'il serait difficile d'apprécier. Peut-être serait-il préférable, ou d'employer des poids circulaires qu'on engagerait dans un axe qui s'élèverait au centre du plateau, et même de rapprocher le plateau de la surface de la lame, en maintenant la partie supérieure du style, comme guide dans le collier supérieur.

5° Il faut que la direction du cordon soit exactement celle du mouvement, autrement la raie, au lieu de se faire en ligne droite, pourrait être sinueuse. Le cordon doit, de plus, être placé perpendiculairement à l'axe de la poulie de renvoi, et bien horizontalement. — Afin d'éviter les inexactitudes qui pourraient provenir de ces deux causes, il serait préférable d'installer le chariot sur des rails, ce qui permettrait de régler, une fois pour toutes, les deux conditions précédentes.

6° Les lames dont je me suis servi, proviennent des métaux usuels qu'on emploie dans l'industrie, et qui, comme on le sait, ne sont pas chimiquement purs. Ces lames ont été polies : ce qui a pu modifier leur dureté. — Il est clair que lorsqu'on sera arrivé à des résultats d'une précision suffisante, il faudra faire les essais sur des métaux aussi purs que possible, et ces métaux, après avoir été polis, devront être recuits et refroidis lentement pour que l'état moléculaire puisse être considéré comme ne variant pas sensiblement dans le sens normal. J'ai eu l'occasion de constater ainsi que du plomb, par exemple, poli et recuit, présentait une dureté normale plus faible que celui qui n'avait pas été recuit, quoique la différence n'ait pas été fort grande. La même observation est applicable au cuivre et au fer sur lesquels j'ai fait le même essai.

7° La dureté absolue varie évidemment pour un même métal avec la température, et diminue en général quand celle-ci augmente. On devra rapporter les duretés des diverses lames à la même température, et étudier d'ailleurs la relation qui peut exister entre la dureté et la température pour une lame

d'un même métal, ce qui permettrait, si cette relation pouvait être généralisée, de calculer la dureté d'une lame à 0°, la connaissant à une autre température. — N'ayant pas encore entrepris cette étude, nous comparerons provisoirement les duretés obtenues à diverses températures, sans tenir compte des variations qui en résultent, en faisant remarquer toutefois qu'il est présumable que les erreurs qui peuvent provenir de ces variations, sont inférieures à celles des causes précédemment signalées.

Quand on sera arrivé à des résultats plus précis, on pourra étudier l'influence sur la dureté, des actions mécaniques et physiques exercées sur la surface d'un même corps, telles que le martelage, le laminage, l'écrouissage, le refroidissement brusque ou lent, la trempe, etc., et en faisant des coupes normales à la surface des corps, voir par l'étude des tranches comment varie la dureté avec la profondeur. — Il ne me paraît pas douteux que ces études, faites avec le soin et les précautions nécessaires, auront des conséquences aussi importantes pour la science pure que pour l'application; et si nous savons déjà, par les expériences de Melloni, l'influence que l'état superficiel des corps peut avoir sur les pouvoirs d'absorption et d'émission de la chaleur, nous aurons à rechercher la relation qui peut exister entre la dureté et ces pouvoirs; il est facile de pressentir que ces mêmes duretés doivent être liées à la production et à la propagation de l'électricité dans les corps, au développement et au maintien du magnétisme dans le fer et dans l'acier, aux diverses propriétés de la lumière dans les corps opaques ou transparents. — C'est la conviction que j'avais à cet égard qui m'a soutenu au milieu des difficultés sans cesse renaissantes de ce travail.

8° Les corps qui présentent des cristaux dans leur masse, présentent des difficultés spéciales. Lorsqu'on fait, par exemple, des expériences avec l'étain, on obtient des écarts parfois considérables; mais si on vient à examiner les raies qui se sont

formées, on reconnaît qu'elles ne sont pas en ligne droite: la pointe, en rencontrant un cristal, est déviée, puis, arrivée à l'extrémité de l'obstacle, elle se meut de nouveau avec une charge beaucoup moindre que celle qui a été nécessaire pour le franchir. — On devra tenir compte de cette remarque, qui permettra d'expliquer certaines divergences, dont on se rendrait difficilement compte autrement.

9° Il est indispensable de remarquer que les raies formées à la surface des corps peuvent être de deux genres : les unes ne sont que de simples sillons tracés sur la lame, sans enlèvement de matière : elles répondent à la limite d'élasticité qui est dépassée, puisque ces sillons sont permanents; les autres indiquent, non plus un enfoncement d'une partie de la surface au-dessous du niveau voisin, mais une véritable déchirure, marquée par des bords irréguliers, par des particules enlevées, pulvérulentes, d'aspect blanchâtre pour les corps transparents. Ces dernières raies se sont formées parce qu'on a dépassé la limite de rupture du corps. — Il faut distinguer avec soin ces deux espèces de raies; il est clair que, pour un même corps, les secondes se forment en dernier lieu, et peuvent servir à mesurer le coefficient de rupture dans un très-grand nombre de cas où la méthode ordinaire ne pourrait être appliquée.

Les observations que nous avons faites répondent toutes à des raies de la première espèce, et ne supposent qu'une chose: c'est que la limite d'élasticité a été dépassée, sans qu'on ait atteint celle de rupture.

Pour le verre, par exemple, on distinguera facilement ces deux ordres de raies, à la vue, et d'ailleurs on est prévenu du moment où les dernières se produisent par le bruit particulier qui résulte de la rupture.

10° Quand les lames auront été polies dans un sens déterminé, il pourra arriver que la résistance tangentielle soit différente dans le sens du frottement et dans le sens opposé, du moins pour les métaux mous.

Quand il s'agira des faces naturelles des cristaux, ou même de faces taillées artificiellement, il importera de tenir compte des directions suivant lesquelles les résistances tangentielles sont déterminées; les recherches citées dans l'introduction de ce mémoire permettent de croire que les différences de conductibilité électrique et calorifique établies par de Sénarmont sur les faces des cristaux sont liées aux différences de dureté des diverses directions d'une même face.

11° Dans quelques-unes des expériences tentées avec une même lame, il a semblé que la pression plus ou moins grande que la lame pouvait subir dans le sens du mouvement de la pointe n'était pas sans influence sur la résistance tangentielle; il faudra donc se garder de serrer fortement les lames et se borner à les maintenir solidement sur leur support.

12° Lorsque les charges du style sont fortes, il arrive quelquefois que le chariot ne repose plus sur ses quatre roues; les résultats obtenus dans ce cas ne présentent plus aucune garantie d'exactitude, et doivent être écartés; la même observation s'applique au cas où les roues de derrière viendraient à se relever, ou à glisser sur la table au lieu de rouler.

J'ajoute, en terminant les observations qui m'ont été suggérées par l'emploi du premier appareil, qu'il ne me paraît pas impossible qu'on puisse trouver, simultanément avec lui, les duretés normales et les duretés tangentielles des corps, et c'est un essai que je compte tenter. On pourra, en effet, apprécier, à l'aide d'un microscope composé, à fil micrométrique, la largeur du trait obtenu, et noter, dans une table spéciale, la charge verticale, la résistance horizontale et la largeur du trait, pour chaque lame.

De ces tables comparées entre elles, on déduira, pour une même largeur de trait et une même pointe, la charge normale et la résistance tangentielle répondant aux lames des divers corps, c'est-à-dire leurs duretés verticales et leurs duretés tangentielles. — Deux difficultés se présenteront ici:

l'une, relative à la détermination précise de la largeur des traits; la seconde, dépendant du calcul d'interpolation nécessaire pour trouver les charges et les résistances qui conviendront à une même profondeur de la pointe, c'est-à-dire à une même largeur du trait; mais je pense qu'on pourra surmonter ou tourner l'une et l'autre.

Deuxième appareil. — Après avoir fixé la table de manière à ce que la vis soit verticale, on réglera la tablette de support de manière à ce que la lame qui doit s'y appliquer bien exactement, ait sa face supérieure horizontale; cette horizontalité se constatera à l'aide d'un petit niveau à bulle d'air. On descendra alors la vis de manière à ce que la pointe, qui est engagée dans le châssis que la vis meut, vienne toucher la surface de la lame; ce dont on s'assure parce que, celle-ci étant polie, l'image de la pointe et la pointe elle-même viennent se toucher.

On réglera en ce moment la position de l'index mobile (Pl. VI, fig. 3) sur sa coulisse, de manière à ce qu'il vienne répondre à l'une des dizaines de la tête divisée. — Sa règle, divisée en millimètres, permettra de savoir exactement la position actuelle de la vis dans son écrou. On relèvera un peu la vis, et on engagera, dans la gorge que la tête présente sur sa circonférence, deux boutons à vis s'appliquant aux extrémités d'un même diamètre, et portant les cordons qui, s'enroulant sur les poulies de la table en bois, devront supporter les plateaux. On redescendra la vis de manière à ce que la pointe touche la lame; et les deux plateaux étant disposés sur leurs supports, et accrochés aux anneaux des cordons, on descendra lentement les supports, la vis soumise aux poids des plateaux, commencera à entrer en mouvement, tournera de quelques degrés; la pointe se sera enfoncée dans la lame de quelques centièmes de millimètre, et le mouvement s'arrêtera. — On relèvera les supports pour soutenir les plateaux, et, sachant leur poids, et de combien ce poids a fait marcher la tête, on ajoutera aux deux plateaux des poids égaux entre eux, qui devront contribuer à

faire tourner la tête d'un nombre de divisions, tel que, depuis le point de départ primitif, elle ait parcouru moins de dix divisions. — En continuant ainsi, on arrivera, après quelques opérations, à charger les plateaux de manière à obtenir un déplacement total de la vis, répondant à dix divisions de la tête, et par conséquent à un enfoncement de la pointe de 0.1 mill. — On procédera de la même façon pour toutes les lames, en ayant soin de noter : 1° les divisions de l'échelle de l'index entre lesquelles la face supérieure de la tête est comprise; 2° la division de la tête qui répond au tranchant de l'index, au moment où l'expérience se termine; 3° les poids des plateaux et leur charge.

Il s'agit maintenant de chercher les résistances normales correspondant aux nombres obtenus; peut-on mesurer ces résistances par la somme des poids des plateaux et des poids marqués qu'on y a introduits, en tenant compte du frottement de la vis dans son écrou?

J'avais cet espoir quand j'ai fait construire cet appareil; je pensais qu'en déterminant le coefficient de frottement, particulier à la vis que j'employais, et, me servant de la formule générale de la vis à filet triangulaire, il me serait possible de calculer les valeurs des résistances des lames, dans chaque cas, ce qui aurait donné sur-le-champ les valeurs relatives des duretés normales des différents corps. — Mais en étudiant la vis elle-même, je me suis aperçu que j'avais trop présumé de la perfection de la construction. L'effort à employer pour faire marcher la vis, à vide, dans son écrou, varie pour ainsi dire pour toutes les positions qu'on peut lui donner; en conséquence, il fallait chercher à tourner la difficulté, et voici comment j'y suis parvenu.

J'ai eu l'idée de remplacer la lame par un levier (Planche VI, fig. 2), la pointe par une tige à tête arrondie, en acier trempé, et laissant la charge dans les plateaux, faisant descendre la vis de manière à ce qu'elle se trouvât dans son écrou comme elle

l'était à la fin de chaque expérience, j'ai placé la petite branche du levier contre la face sphérique de la tige, et j'ai chargé successivement un plateau suspendu à l'extrémité de la grande branche, jusqu'à ce que le mouvement de descente de la vis ne pût plus s'effectuer. — En ce moment, la vis se trouvant dans la position qu'elle occupait à la fin de l'une des expériences, on pouvait déduire de la charge connue du levier, de son poids, de la position de son centre de gravité et de la grandeur de ses bras, la pression exercée de bas en haut par la petite branche du levier, et, par conséquent, la résistance normale de la lame, si je ne fais pas erreur.

Telle est la marche que je me propose de suivre; je dois ajouter que j'emploie une petite lunette pour la mise au point, et que je ne commets pas une erreur de 0.01 mill. dans le contact de la pointe et de la lame.

1° Ici se présente une cause d'erreur qui serait grave, si elle ne pouvait être évitée. — Ayant l'œil à la lunette, et constatant, au moment du contact de la pointe et de la lame, une certaine position de la tête de la vis en regard de l'index, je m'apercevais, lorsque je voulais faire remonter la pointe, que la tête tournait quelquefois d'un nombre de degrés pouvant s'élever jusqu'à 20, avant que la pointe parût se séparer de la lame, tandis qu'elle aurait dû se relever d'une manière apparente pour 1° au plus.

La cause de ce fait trouve son explication dans la manière dont se fait la jonction de la vis et du châssis; la vis se termine par le bas par un cylindre à gorge qui s'engage dans un collier lié invariablement aux branches verticales du châssis; ce cylindre se meut à frottement doux dans le collier; mais, comme il y a une différence de 0.2 mill. environ, entre la hauteur du collier et la hauteur de la gorge dans laquelle il est renfermé, on conçoit que, le châssis glissant à frottement doux dans ses guides, le collier, au moment de la descente de la vis, peut avoir une position variable sur le cylindre. — Or, il

importe, pour l'exactitude des expériences, qu'à l'instant où elles vont commencer, la pointe étant sur la lame, la face inférieure *ab* du cylindre (Planche VI, fig. 6) soit au contact de la face supérieure *cd* du collier, parce que celui-ci, descendant comme la vis, forcera la pointe à descendre d'autant.

Souvent, au moment de l'expérience, le châssis obéissant à son poids, le bord inférieur du collier repose sur le rebord inférieur du cylindre; dans ce cas la vis pourrait tourner de 20° dans le sens voulu, sans que la pointe pût s'enfoncer autrement que par le poids du châssis; il est donc indispensable, quand on va produire l'affleurement de la pointe sur la lame, de soulever le châssis de manière à établir fortement le contact des bords supérieurs du cylindre et du collier.

On pourrait faire une observation analogue pour le déplacement de la vis dans son écrou, sans mouvement de rotation; mais ici l'effet est insignifiant, et d'ailleurs, au moment où on relève le châssis, on relève par cela même la vis; les surfaces hélicoïdales de la vis et de son écrou, qui doivent se trouver au contact lorsque la pointe descend, y sont amenées par le mouvement d'élévation du châssis.

Si le châssis avait, ainsi que le collier, beaucoup de jeu, et, après avoir été remonté, pouvait descendre en vertu de son poids, il y aurait, pour les corps mous, une difficulté sérieuse, parce que la pointe pourrait y descendre en réalité, plus qu'elle ne le ferait pour les corps durs, pour le même mouvement de 10° de la tête de la vis; on évite cette cause d'erreur, en serrant les vis du collier ou des guides du châssis, de manière à ce que le collier, après avoir été appliqué contre le bas du cylindre *ab*, ne puisse descendre en vertu de son poids et de celui du châssis. — On lèverait, sans doute, cette difficulté, en disposant la vis horizontalement; mais on aurait alors à placer et à maintenir les lames verticalement, ce qui ne laisserait pas que d'embarrasser.

2° Il importe de ne pas laisser agir les plateaux et les poids brusquement sur la vis, pour empêcher que la limite de 10° puisse être atteinte par une vitesse acquise de la pointe; on a vu comment il était possible d'éviter cet inconvénient.

3° Le temps peut avoir son influence dans l'expérience, c'est-à-dire que, pour les corps mous, la limite de 10° pourra être atteinte avec des poids successivement moindres, et des temps de plus en plus longs; — pour les corps durs, il n'y aura pas de variation sensible avec le temps. Pour les corps mous on devra donc tenir compte des temps pendant lesquels les poids ont agi.

Troisième appareil. — Quoique j'aie employé cet appareil comme instrument transitoire, je l'ai fait néanmoins construire avec quelque soin; il a subi peu à peu quelques modifications avant de devenir ce qu'il est maintenant, et je dois déclarer que, si j'avais à le faire reconstruire, j'adopterais des dispositions nouvelles qui m'ont été suggérées par quelques causes d'erreur dont il sera question plus loin.

Lorsqu'on voudra mettre une lame en expérience, avec une pointe donnée, on commencera par engager la pointe dans la vis, puis on la maintiendra fortement avec sa vis de pression (12). — La lame sera maintenue entre la pince du support et la paroi métallique qui est mise en mouvement par une vis de rappel; on arrêtera la vis de pression de celle-ci. — On devra régler l'horizontalité du fléau, à l'aide d'un bouton en écrou, mobile le long d'une vis fixée parallèlement au levier et à l'une de ses extrémités (7). — Pour cette position du levier, l'aiguille qui termine l'une de ses branches répond à la division 0° du cadran; on relève la vis (8) sur laquelle on appuie la branche (1), pendant que l'on descendra la vis (9). Celle-ci s'abaissera jusqu'à ce que l'on constate, par une lunette dont l'axe optique est presque parallèle à la surface de la lame, que la pointe est au contact; — on serre fortement alors la vis (12) de pression de la grande vis du levier et on amène une petite

aiguille, mobile librement sur la tête de cette vis, en regard de l'index vertical (11) fixé sur la branche (1') du levier; elle est destinée à faire voir que, pendant l'expérience, la vis (9) n'a pas éprouvé de mouvement de rotation dans son écrou[1].

Tout étant ainsi disposé, on relève la vis (8'), puis on suspend le crochet et le plateau, dont le poids dépend de la dureté présumée de la matière qui forme la lame soumise à l'essai. On abaisse doucement cette vis, et on voit comment marche l'aiguille; on note ce premier résultat, puis on relève un peu la vis, et on ajoute au plateau des poids qui doivent dépendre du résultat qu'on vient d'obtenir; on procède ainsi en allant, quand on le peut, de degré en degré, jusqu'à 6, 7, 8, 9 ou 10 divisions, si cela est nécessaire. — On se rappelle que les divisions du cadran représentent des millimètres. Étant arrivé à 6, 7, 8, 9 ou 10 divisions, selon les cas, on examinera ce que j'ai appelé la *position de retour;* en d'autres termes, on cherchera la position prise par l'aiguille sur le cadran, lorsqu'on aura enlevé le plateau et la charge qu'il contient. On comprendra tout à l'heure l'importance du nombre ainsi obtenu.

La durée de ces diverses opérations varie de 1 à 5 minutes[2].

Nous allons dire maintenant comment nous avons trouvé les valeurs qui doivent représenter les duretés des métaux ou des alliages essayés.

Au premier abord rien ne paraît plus simple; le fléau étant équilibré, il semble qu'il n'y aura qu'à prendre la somme des

1. La vis avait même été surmontée d'une tige conique, pour qu'il fût possible de mesurer directement au cathétomètre l'enfoncement vertical de la pointe. — Malheureusement mon cabinet est au second, dans le voisinage de l'une des portes de la ville, où le passage des voitures a lieu sans interruption; l'essai que j'ai fait du cathétomètre n'a pas réussi, je ne pourrai l'employer que lorsqu'il me sera possible d'installer mon appareil dans un lieu tranquille.

2. La sensibilité du fléau à vide est variable; souvent on a trouvé qu'il fallait employer 6 ou 7 gr. pour le faire marcher; quelquefois, lorsque les vis du collier sont plus serrées, il a fallu jusqu'à 100 gr.

poids du crochet, du plateau, et des poids marqués qu'il contenait, quand l'aiguille marquait 5 divisions, pour avoir la résistance normale de la lame, répondant à un enfoncement de 0.1 mill.; ce serait inexact. L'axe du levier n'est pas, en effet, si bien engagé dans ses colliers, qu'il ne puisse avoir un certain jeu, un déplacement possible dans le support. Or ce déplacement donne lieu à plusieurs erreurs:

1° Le relèvement du centre de gravité du fléau, qui exigera, relativement au point fixe nouveau, représenté par le point de contact final de l'axe et du collier, qu'on tienne compte du poids du fléau;

2° Le déplacement de l'axe, changeant le point de contact du fléau et du support, modifiera le rapport de longueur des bras de l'aiguille et de la pointe, de sorte que ce rapport n'étant plus celui de 2 à 50, qui répond à la position du fléau non chargé, la division 5 occupée par l'aiguille sur le cadran n'indiquera plus un enfoncement de 0.1 mill., mais un enfoncement moindre: c'est à cet inconvénient que la position de retour est destinée à obvier.

Cette position de retour se produit parce que, la charge étant enlevée, l'axe reprend sensiblement sa position initiale sur la partie inférieure des colliers.

Il est permis de croire sans doute que, par suite d'un mouvement de bas en haut du fond du trou, cette position de retour diffère de la position de la pointe, avant l'enlèvement de la charge.— Mais, d'après la définition que j'ai adoptée provisoirement pour la dureté normale, on devra prendre la position de retour de 5 divisions comme celle qui répond à la profondeur de 0.1 mill., pour toutes les lames, et on déduira de la charge qui lui répond, à laquelle on aura été conduit par une série d'essais et qu'on aura vérifiée en recommençant de suite l'expérience avec cette charge finale, la résistance opposée par la lame à l'enfoncement de la pointe, c'est-à-dire la dureté normale.

Il semblerait que, le relèvement de l'axe se faisant toujours

de la même manière, la position de retour, répondant à un même écart de l'aiguille relativement au zéro, dût être toujours la même ; il n'en est rien cependant, ce qui tient à diverses causes : 1° à la non-invariabilité du support, qui cède plus sous de grandes charges que sous les petites ; 2° à ce que la lame ne s'applique pas toujours parfaitement, par sa face inférieure, sur le support et subit momentanément une flexion ; 3° à ce que les colliers se composent, chacun, de deux moitiés, dont l'une fait partie des montants et dont l'autre est maintenue contre celle-ci à l'aide de fortes vis qui peuvent ne pas résister suffisamment à la pression exercée par l'axe contre cette moitié.

Lorsqu'on décharge le fléau, l'élasticité des diverses pièces que nous venons de nommer les ramène à peu près à leur position primitive, l'axe vient se replacer sur les moitiés inférieures des colliers, la pointe reste engagée dans le trou qu'elle forme, parce qu'elle a dépassé la limite d'élasticité de la matière de la lame, et par suite si l'aiguille est alors à la division 5, on pourra, comme nous allons le faire voir, déduire de la charge totale, la résistance de la lame à la pression qu'elle subit.

S'il n'y avait ni frottement, ni relèvement de l'axe, on aurait sur-le-champ la résistance Q de la lame en multipliant la charge P par le rapport inverse des bras du levier, — mais on peut tenir compte de ces deux causes d'erreur.

Si nous appelons :

φ l'angle du frottement,

R la résistance des colliers,

P la charge appliquée à l'extrémité du levier,

Q la résistance de la lame,

p le poids du levier (Planche VI, fig. 7),

et si nous appliquons l'équation des moments au centre immobile des colliers, en admettant que l'on puisse confondre, sans erreur sensible, le centre de l'axe et celui des colliers, on aura :

$$P \times AO - Q \times BO + R \times DO = 0,$$[1]

ou en remarquant que $R = Q - P - p$, et en désignant AO par L, BO par l et GO par r,

$$PL - Ql + (Q - P - p) \cdot r \sin \varphi = 0,$$

d'où

$$Q = \frac{P(L - r \sin \varphi) - p r \sin \varphi}{l - r \sin \varphi}.$$[2]

Lorsque l'axe est relevé, la normale de contact est sensiblement, pour mon appareil, perpendiculaire à la droite qui joint l'extrémité de la pointe à l'axe; par suite l'angle de cette droite avec l'horizontale est égal à φ.

En substituant dans l'équation précédente les nombres qui se rapportent à l'appareil, où $L = 200$ mill., $l = 20$ mill., $BM = 50$ mill., $r = 5$ mill., $r \sin \varphi = 4.642$ mill., on trouve

$$Q = \frac{P^{gr} \times 195.358 \text{ mill.} - 893 \text{ gr.} \times 4.642 \text{ mill.}}{15.358 \text{ mill.}}$$

ou

$$Q = P^{gr} \times 12{,}7187 - 269.7 \text{ gr.}$$

C'est la formule qui m'a servi à calculer les nombres que je donnerai plus loin.

En regard de ces nombres, et dans une autre colonne, je rapporte les duretés normales à une unité, c'est-à-dire que je fais pour cette grandeur ce qu'on fait pour les autres, et c'est

1. Cette équation n'est qu'approchée, parce que l'équilibre n'est pas définitif et que le mouvement de la pointe continue à se produire avec plus ou moins de lenteur; mais j'ai pensé qu'elle suffisait pour les valeurs provisoires que je cherchais.

2. Il est facile de voir que si $pr \sin \varphi$ est négligeable par rapport à $P(L - r \sin \varphi)$, dans le cas des métaux sur lesquels j'ai opéré, les valeurs de Q seront sensiblement proportionnelles aux valeurs de P, qui pourront ainsi donner les duretés. J'aurais donc pu supprimer, sans inconvénient, dans l'équation finale, le terme 269.7 gr., eu égard au degré d'approximation que j'ai admis; je considère, en effet, les duretés obtenues, comme estimées tout au plus, à moins d'un dixième de leur valeur.

le cuivre dont la dureté sera prise égale à 1. — Les autres duretés seront donc obtenues en divisant les valeurs de Q par celle relative au cuivre. — Si j'ai choisi le cuivre, c'est parce que ce métal a une dureté intermédiaire entre les extrêmes qui m'a paru pouvoir être déterminée plus exactement que ces dernières. — La détermination de la dureté des corps mous comme le plomb, dépendant du temps, présente une cause d'erreur spéciale. Les corps très-durs, exigeant de fortes charges et étant difficiles à bien aplanir, présentent un autre genre de difficultés; j'ai donc préféré, pour y rapporter l'unité, prendre le corps dont la valeur de Q me paraissait pouvoir être déterminée le moins inexactement. — Il va sans dire que, si pour le moment je donne les duretés des métaux tels que l'industrie me les a fournis et polis, je chercherai plus tard les duretés des métaux purs, polis, mais recuits, pour éviter la modification que le polissage a pu apporter à la dureté des corps, et je les rapporterai à la même température; — il restera ensuite à étudier successivement, pour chacun d'eux, l'influence que les diverses opérations des arts peuvent leur faire subir.

En tête de chaque tableau, la forme et les dimensions de la pointe, ainsi que la matière qui la constitue, et sa trempe, s'il s'agit de l'acier, doivent être indiquées avec soin.

On a vu, par les observations qui précèdent, les difficultés nombreuses qu'il a fallu vaincre; ce ne sont pas les seules, et je dois en signaler ici quelques autres, pour éviter aux observateurs qui désireraient suivre la même voie, les surprises et les pertes de temps que j'ai eu à subir.

1° Une cause d'erreur inhérente à l'appareil, et qu'on ne pourra faire disparaître qu'en le modifiant, pour retomber d'ailleurs dans une cause d'erreur d'un autre genre, tient à ce que la pointe ne s'enfonce pas, à proprement parler, perpendiculairement à la lame, mais en décrivant une ligne courbe. — La pointe ne s'enfonçant pas normalement de 0.1 mill., mais en décrivant un arc, dont la projection sur la normale est de

0.1 mill.; il y a là sans doute une erreur; je la crois faible (on pourrait l'éviter, au surplus, en modifiant cet appareil), mais j'ai dû la signaler.

2° J'ai déjà parlé, plus haut, des erreurs dépendant de la courbure des lames, et de leur défaut d'application sur la surface de contact. Pour les lames de fer et d'acier notamment on a parfois obtenu des divergences très-grandes. Bien appliquées, la charge à employer pour obtenir une déviation de l'aiguille de 5 ou 10 mill. est très-grande; mal appliquées, la charge à employer est faible, mais alors le déplacement de l'aiguille provient de la flexion de la lame, et très-peu de l'enfoncement de la pointe. On trouve, en effet alors, pour le même écart de l'aiguille et des charges très-différentes, des trous plus petits pour les charges plus faibles.

3° L'affleurement de la pointe sur la lame exige certaines précautions. — La pointe ne peut être très-aiguë, car, en raison de son mouvement circulaire, la résistance qu'elle éprouve tangentiellement à l'arc que son sommet décrit, peut, du moins pour les corps très-durs, en déterminer la rupture. Cet inconvénient ne sera pas à craindre au même degré avec le deuxième appareil. — J'ai donc terminé les pointes par une tête sphérique ou par une pièce cylindrique.

On doit s'arranger de manière à voir la pointe et son image, en dirigeant la lunette de visée, aussi peu obliquement que possible sur la surface de la lame, autrement l'axe optique pourrait être tangent à la pointe et à son image, sans que le contact existât entre la pointe et la lame. — Pour les corps durs on peut employer quelquefois l'indication de l'aiguille qui commence à se relever quand la pointe est arrivée au contact. Je pense qu'en opérant avec soin, l'erreur commise sur le contact avec des corps réfléchissants, peut être considérée comme inférieure à 0.01 mill., et par suite les duretés seront déterminées à moins d'un dixième de leur valeur totale pour une pointe déterminée. — La position de l'aiguille

sur son cadran peut, à l'aide du micromètre employé, être appréciée à moins d'un dixième de division ou de millimètre. Or, comme un déplacement de 5 divisions de l'aiguille répond à un enfoncement de 0.1 mill., une erreur de 0.1 mill. du cadran ne répond qu'à une erreur d'un cinquantième sur la valeur de la dureté.

4° Il importe beaucoup de placer les poids sur les plateaux sans secousse et de les enlever de même; on a indiqué les moyens d'atteindre ce double but; quant à l'inconvénient des secousses, il est à peine besoin de faire remarquer que l'enfoncement s'en trouve augmenté et que certains écarts peuvent en provenir.

5° Une cause d'erreur qui tient encore à la manière dont l'appareil fonctionne, réside dans le relèvement du métal sur les bords du trou, vers lesquels la pointe se dirige. Toutes les lames donnent plus ou moins cette élévation; mais elle est surtout marquée dans les métaux mous.

6° On peut prévoir que les pointes d'acier qui seront employées dans les expériences subiront une usure successive; il sera bon en conséquence de faire, après un certain nombre d'expériences, un essai nouveau sur la lame de cuivre, pour s'assurer que le résultat n'a pas changé ou pour tenir compte de la variation qui se serait produite, dans la détermination des duretés.

Je n'ai pas encore trouvé le moyen d'apprécier numériquement la limite des erreurs consignées aux n°s 1 et 5. Ces causes d'erreur seront évitées avec le deuxième appareil. — Si je faisais reconstruire le dernier, je ferais en sorte que la pointe s'enfonçât normalement dans la lame, et j'emploierais deux leviers, l'un indicateur de la pression et l'autre servant à mesurer l'enfoncement.

Je dois ajouter qu'il m'est arrivé de tomber parfois, avec la même pointe, d'une lame à une autre du même métal, sur des nombres différents, de qui ne doit pas surprendre si on

remarque que la matière n'était peut-être pas identique et surtout que les actions mécaniques avaient pu modifier la surface d'une manière différente.

S'il advenait pour les duretés ce qui est résulté des expériences de Wertheim relatives aux limites d'élasticité déterminées sur les fils, on pourrait pour un même métal, selon l'état de sa surface, trouver des nombres variant entre des limites assez éloignées, mais différentes pour chacun d'eux et susceptibles de présenter, dans le cas exceptionnel de l'acier fondu, le rapport de 11 à 1.

Si, au point de vue de l'application, il importe de trouver les duretés des métaux travaillés que nous fournit l'industrie, au point de vue de la science pure et pour obtenir des nombres invariables, caractéristiques de chaque corps, il importe de prendre des métaux aussi chimiquement purs que possible et recuits.

On ne devra pas oublier, d'autre part, que les métaux qui ont subi quelque action mécanique superficielle, qui ont été trempés ou écrouis, peuvent, avec le temps et les variations de température, perdre une partie de leur dureté et que, par suite, une même lame pourra, après un intervalle de temps suffisant, donner des résultats qui ne seraient pas d'accord avec ceux antérieurement obtenus, ce qui ne condamne pas la méthode employée, mais ce qui fait connaître une variation de propriété qu'il est utile d'établir[1].

1. Il est probable que la diminution du magnétisme des aimants artificiels, avec le temps, est en relation avec celle de la dureté.

CHAPITRE V. —

Premier

Le style en bois a un poids de 53.70 gr.; la pointe formée par un pression normale, f' la résistance tangentielle de la lame.

Valeurs de f.	56 × 1	56 × 2	56 × 3	56 × 4
				Valeurs corres-
Plomb (a). Température 15°,2	20	20 × 2 + 4		
Étain. Temp. 13°,8	18	18 × 2	18 × 3 + 6	
Cuivre rouge, laminé et poli. Temp. 16°,4	12	12 × 2	12 × 3 + 5	12 × 4 + 13
Zinc fondu. Temp. 16°,3	12	12 × 2 − 2	12 × 3 − 3	12 × 4
Zinc laminé. Temp. 19°	11	11 × 2	11 × 3 + 3	11 × 4 + 11
Fer doux recuit. Temp. 13°	10.5	10.5 × 2	10.5 × 3 − 0.5	10.5 × 4 − 1.5
Fer forgé. Temp. 15°	10	10 × 2 − 1	10 × 3	10 × 4
Acier non trempé. Temp. 18°	10	10 × 2	10 × 3	10 × 4
Acier trempé. Temp. 17°,3	8	8 × 2 + 1	8 × 3 + 2	8 × 4 + 3

Résultats.

appareil.

diamant de vitrier a un poids de 2.30 gr.; *f* représente en grammes la

56 × 5	56 × 6	56 × 7	56 × 8	56 × 9	56 × 10

pondantes de f'

12 × 5 + 24	12 × 6 + 27	12 × 7 + 49			
12 × 5 + 4	12 × 6 + 6	12 × 7 + 20			
11 × 5 + 18	11 × 6 + 27	11 × 7 + 36			
10.5 × 5 − 2.	10.5 × 6 − 2.5	10.5 × 7 + 6	10.5 × 8 + 14.5	10 5 × 9 + 24.5	10.5 × 10 + 37
10 × 5					
10 × 5	10 × 6 + 1	10 × 7 + 2	10 × 8 + 2	10 × 9 + 3	
8 × 5 + 3	8 × 6 + 4	8 × 7 + 5	8 × 8 + 7	8 × 9 + 8	

Fonte de fer. Temp. 17°	10	10 × 2	10 × 3 — 1	10 × 4
Laiton fondu. Temp. 13°	11	11 × 2	11 × 3	11 × 4 + 5
Laiton laminé. Temp. 10°,2	11.5	11.5 × 2	11.5 × 3 — 1.5	11.5 × 4 + 1
Alliage d'imprimerie. Temp. 14°,7	12	12 × 2 + 9	12 × 3 + 22	12 × 4 + 35
Verre à vitres (*b*). Temp. 18°,7	4	4 × 2	4 × 3	4 × 4
Verre à glaces. Temp. 14°,7	4.5	4.5 × 2	4.5 × 3 — 0.5	4.5 × 4 — 2
Marbre noir poli (*c*), avec quelques grains blancs dans la pâte. Temp. 14°,2	11	11 × 2	11 × 3 + 1	11 × 4 — 3
Même marbre (*d*), face non polie. Temp. 14°	14	14 × 2	14 × 3	14 × 4
Ardoise (*e*). Temp. 20°	13	13 × 2	13 × 3	
Soufre poli (*f*). Temp. 15°,2	22	22 × 2 + 5	22 × 3 + 5	22 × 4 + 17
Lame de cailloutage, ou faïence vernie (*g*). Temp. 15°,3	4	4 × 2	4 × 3	4 × 4 + 3
Faïence vernie (*h*) Temp. 21°,5	4.5	4.5 × 2	4.5 × 3 — 0.5	4.5 × 4
Porcelaine anglaise. Temp 15°	5	5 × 2	5 × 3 + 2	5 × 4 + 1
Houille.[2] Temp. 12°,5	15	15 × 2	15 × 3 + 10	
Ivoire. Temp. 17°,4	17	17 × 2 + 2	17 × 3 + 9	17 × 4 + 25

1. Résultat incertain, le style éprouve un tremblement.
2. Lame très-inégale, résultats peu sûrs.

10 × 5 + 2	10 × 6 + 2	10 × 7 + 4	10 × 8 + 9		
11 × 5 + 9	11 × 6 + 13	11 × 7 + 26			
11.5 × 5 + 4.5	11.5 × 6 + 12	11.5 × 7 + 21.5	11.5 × 8 + 29	11.5 × 9 + 30.5	11.5 × 10 + 39
12 × 5 + 48	12 × 6 + 59	12 × 7 + 67	12 × 8 + 60	12 × 9 + 67	
4 × 5	4 × 6 + 1	4 × 7 + 2	4 × 8 + 3	4 × 9 + 4	4 × 10 + 4
4.5 × 5 + 0.5	4.5 × 6 + 1	4.5 × 7 − 0.5	4.5 × 8 + 1	4.5 × 9 + 0.5	4.5 × 10 + 4
11 × 5					
14 × 5	14 × 6				
4 × 5 + 3	4 × 6 + 4	4 × 7 + 5	4 × 8 + 8	4 × 9 + 8	4 × 10 + 10
4.5 × 5 − 0.5	4.5 × 6 + 1	4.5 × 7 − 0.5	4.5 × 8 + 2	4.5 × 9 + 1.5	4.5 × 10 + 2
5 × 5 + 4	5 × 6 + 5	5 × 7 + 6	5 × 8 + 5	5 × 9 + 5	5 × 10 + 3
17 × 5 + 32					

(*a*) Les corps mous donnent lieu à des résultats assez variables, soit parce que leur surface se polit difficilement, comme il est arrivé à la lame de plomb sur laquelle j'ai opéré, soit parce qu'il existe des cristaux dans la masse, comme on le constate sans peine dans l'étain.

J'ai donné, sous ces réserves, les résultats obtenus pour le plomb, l'étain et l'alliage d'imprimerie.

(*b*) Cette série montre, avec une netteté remarquable, que, pour les corps durs, comme le verre à vitres, et on a pu faire une remarque analogue pour quelques-unes des lames métalliques les plus dures, dont on a donné les résultats, l'on obtient, entre la force nécessaire pour faire marcher la pointe sur la lame et la pression normale, un rapport constant; en d'autres termes, nous trouvons, dans le cas d'une pointe, la loi que Coulomb a trouvée dans le cas d'une surface : c'est-à-dire la constance du rapport du frottement à la pression. — Les nombres suivants du tableau confirment, pour les corps durs et pour les pointes, la loi précédente. J'avais pensé d'abord, en constatant ce résultat, que la pointe n'avait fait que glisser sur la surface de la lame, sans y laisser aucune empreinte, et dans ce cas, cette expérience aurait pu être considérée comme une expérience de frottement, pour le cas d'un élément superficiel. — Mais en examinant à la loupe la surface de la lame, j'ai reconnu très-nettement les raies que la pointe de diamant y avait formées. — Il y a donc eu ici force employée, non pour faire glisser la pointe sur la lame, mais pour déformer la lame, pour y tracer un sillon. — Reste à savoir si, dans toutes les expériences de frottement, il n'en est pas ainsi, plus ou moins, et si en examinant les surfaces en contact, après le déplacement, on ne les trouverait pas striées; dans ce cas, les expériences de Coulomb seraient le cas général d'un fait dont mes expériences représenteraient le cas élémentaire, les unes et les autres seraient

d'accord pour les corps durs. — Quant aux corps mous, les résultats qui précèdent semblent indiquer que la loi ne leur serait plus applicable.

(*c*) Cette même lame a été étudiée sur la surface opposée qui n'avait pas été polie, afin de voir, dans le cas particulier, quelle avait été l'influence du polissage.

(*d*) Cette lame présente des temps d'arrêt, parfois des bavures qui semblent indiquer des différences de dureté.

(*e*) Il y a ici des arrêts nombreux et une dureté inégale dans les diverses parties de la surface; il faut charger parfois le plateau de poids considérables pour continuer à faire marcher le style; en examinant la surface à la loupe, on aperçoit des particules de quartz ou de mica, disséminées dans la pâte, et qui sont probablement la cause de ces inégalités.

(*f*) L'expérience faite avec la plus forte charge, donne lieu à une raie à bords pulvérulents; la limite de rupture a été atteinte, et dans ce cas on constate ordinairement une variation brusque du terme complémentaire de la valeur de f'.

(*g*) Il est probable que la pointe n'a agi que sur le vernis, quoiqu'on ne puisse rien affirmer à cet égard.

(*h*) Cette lame était un peu courbe.

Je n'ai pas encore pu étudier assez complétement le deuxième appareil, depuis que je l'ai reçu, pour me hasarder à donner les résultats qu'il m'a fournis. Je dois me borner à dire que les nombres que j'ai obtenus varient dans le même sens que ceux que donne l'appareil suivant. . . .

Troisième appareil.

Pointe en acier trempé jaune paille, d'un angle de 30°, terminée, au commencement des expériences, par une tête arrondie ou segment sphérique de 0.52 mill. de diamètre et de 0.28 mill. de flèche[1].

MÉTAUX.	TEMPÉRATURE.	VALEURS DE P. En grammes.	VALEURS DE Q. En grammes.	DURETÉS.
MÉTAUX.				
Fer doux recuit	20°	4,198	53,128	1.64
Platine (pur)	22°,8	3,838	48,545	1.50
Palladium (pur)	22°	2,613	32,964	1.02
Cuivre laminé et poli	21°	2,568	32,392	1
Zinc fondu	22°	2,138	26,923	0.83
Argent (pur)	22°	1,668	19,945	0.61
Nickel ordinaire	22°,6	1,511	18,928	0.58
Or (pur)	22°,5	1,464	18,350	0.57
Aluminium (pur)	22°,6	1,378	17,257	0.53
Bismuth (fondu et poli)	19°,6	600	7,361	0.22
Cadmium (fondu et poli)	19°,5	553	6,763	0.21
Étain	22°	373	4,475	0.14
Plomb	22°	263	3,075	0.095
ALLIAGES.				
Métal des cloches	20°,4	5,738	72,700	2.24
Bronze ordinaire	20°,4	4,788	60,628	1.87
Bronze d'aluminium à 10 %	20°,8	3,638	46,001	1.42
Bronze d'aluminium à 5 %	20°,9	2,888	36,162	1.12
Laiton fondu	20°,4	3,197	40,392	1.25
Laiton laminé	20°,4	2,738	34,554	1.06
Alliage d'imprimerie	20°,3	623	7,654	0.24
Poterie d'étain	20°,3	573	7,018	0.22
Alliage des théières anglaises	21°	573	7,018	0.22
Soudure des plombiers	20°,4	473	5,696	0.17
Alliage de Darcet	20°,4	378	4,475	0.14
Monnaie de billon française. 1861[2]	15°,2	5,438	68,894	1.385
Cuivre laminé et poli	15°,2	3,938	49,716	1

1. Ces nombres ont été obtenus avec une machine à diviser de Perreaux.

2. Lorsque cette expérience a été faite, la pointe d'acier avait été émous-

BRONZE DES CANONS.

L'ancien directeur de la fonderie de Strasbourg, M. le lieutenant-colonel Lucas, a bien voulu faire diviser, à ma prière, l'obusier de campagne : *le Badinage*, fondu à Strasbourg en 1840 et mis au rebut.

Sa composition était :

Cuivre	89.22
Étain	10.38
Plomb.	0.40

On a pris 3 rondelles, l'une (1) à la lumière, l'autre (2) aux tourillons et la troisième (3) vers l'extrémité de la volée ; — chacune d'elles a fourni deux lames, l'une répondant à la circonférence intérieure, l'autre à la circonférence extérieure.

Voici les résultats que ces lames ont fournis.

BRONZE DES CANONS.	TEMPÉRATURE.	VALEURS DE P. En grammes.	VALEURS DE Q. En grammes.	DURETÉS.
Lame n° 1, interne	20°,3	4,038	51,089	1.58
Lame n° 1, externe	20°,3	4,038	51,089	1.58
Lame n° 2, interne	21°	3,988	50,453	1.56
Lame n° 2, externe	21°	4,518	57,194	1.76
Lame n° 3, interne	21°	4,563	57,766	1.78
Lame n° 3, externe	21°	4,658	58,974	1.82

Les nombres qui précèdent, quoique peu différents, semblent indiquer que la dureté va légèrement en augmentant, de la culasse à l'extrémité de la volée, et que, peut-être, la dureté des parties voisines de l'âme est un peu plus faible que celle des parties voisines de la surface de la pièce.

---

sée par son usage sur la fonte trempée, on a dû chercher à nouveau les valeurs de P et de Q pour le cuivre, et c'est en divisant la valeur de Q relative à la monnaie de billon, par celle obtenue en dernier lieu pour le cuivre, qu'on a trouvé le nombre 1,385.

FERS. — FONTE. — ACIERS.

MÉTAUX.	TEMPÉRATURE.	VALEURS DE P. En grammes.	VALEURS DE Q. En grammes.	DURETÉS.
Fer laminé.	21°,4	4,438	56,176	1.73
Fer forgé	21°,4	4,938	62,535	1.93
Fonte douce[1]	21°,1	4,938	62,535	1.93
Acier non trempé[2]	21°	5,798	73,474	2.27
Acier trempé[3].	21°,1	8,338	105,779	3.26

FERS ET ACIERS[4].

MÉTAUX.	TEMPÉRATURE.	VALEURS DE P. En grammes.	VALEURS DE Q. En grammes.	DURETÉS.
Cuivre laminé et poli[5] . . .	18°,4	3,238	40,913	1
Fer doux recuit	18°,4	5,438	68,894	1.68
Fer doux forgé, non recuit. .	18°,4	7,438	94,332	2.30
Fer doux laminé.	18°,4	6,938	87,972	2.15
Acier cémenté d'Allemagne, non trempé	18°,4	5,538	70,166	1.70
Acier fondu français, non trempé	18°,4	7,438	94,332	2.30
Acier fondu anglais, non trempé	18°,4	7,938	100,691	2.46
Acier cémenté d'Allemagne, trempé à ressort	18°,4	8,938	113,410	2.77
Acier fondu français, trempé à ressort	18°,4	9,938	126,129	3.08
Acier fondu anglais, trempé a ressort	18°,4	10,938	138,847	3.39

1. La lame présente des traces évidentes de rupture, au bord vers lequel la pointe a marché.

2 et 3. J'ignore la provenance de ces aciers et le degré de trempe du dernier; je me propose au surplus de faire une étude spéciale de la dureté des aciers.

4. Ces lames ont été travaillées, ainsi que d'autres dont je compte m'occuper plus tard, par notre habile fabricant d'instruments de chirurgie, M. Elser.

5. Je commence le tableau par le cuivre laminé, parce que la pointe qui a été employée jusqu'à présent, s'est émoussée; sa flèche a diminué et les valeurs de P et de Q ont par cela même dû s'accroître.

FERS ET FONTES DES FORGES D'AUDINCOURT (DOUBS)[1].

MARQUES des échantillons	DÉSIGNATION.	OPÉRATIONS SUBIES.	MATIÈRES PREMIÈRES EMPLOYÉES.	TEMPÉRATURE.	VALEURS DE P. En grammes.	VALEURS DE Q. En grammes.	DURETÉS.
A	Fer au bois forgé.	Affinage par la méthode comtoise; forgeage au pilon.	Fonte au charbon de bois provenant du minerai en grains, oolithique.	15°,2	5,738	72,710	2.24
B	Fer au bois laminé.	Les deux opérations ci-dessus; plus un réchauffage à la houille et le laminage.	Les mêmes que ci-dessus.	15°,2	4,738	59,991	1.85
C	Grosse tôle au bois, servant pour chaudières à vapeur.	On réunit en grosses trousses des fers au bois laminés; ces trousses sont échauffées au rouge soudant, soudées au pilon, puis laminées.	Fer au bois laminé.	15°,2	4,938	62,535	1.93
D	Tôle au bois pour casserie.	Fer au bois laminé, chauffé à la houille, au rouge blanc, puis relaminé et recuit.	Fer au bois laminé.	17°,6	4,138	52,360	1.61
E	Tôle plombée[2].	Tôle semblable à l'échantillon D, décapée à l'acide chlorhydrique, puis plombée.	Tôle au bois. Alliage de plomb et d'étain.	18°,8	1,288	16,112	0.50
F	Fer-blanc brillant[3]	Étamage au suif.	Tôle au bois. Étain.	19°,4	1,938	24,379	0.75
G	Moulage en fonte.	Fusion au coke de la fonte brute, moulage en châssis dans le sable.	Fonte au bois, obtenue de minerai en grains.	17°,6	5,938	75,254	2.32
	Fonte trempée[4].	Fonte au coke coulée dans une coquille en fonte.	Fonte au coke.	15°,2	12,938	164,285	7.98
H	Cuivre laminé et poli.			15°,2	1,638	20,573	1

1. Je dois ces échantillons à l'obligeance de l'un de mes anciens élèves, M. P. Edel, autrefois employé aux forges d'Audincourt.

2 et 3. Les échantillons E et F qui ont des épaisseurs, le premier de 0.3 mill. et le second de 0.5 mill. environ, ont des duretés intermédiaires entre celles du plomb ou de l'étain et celle du fer. L'échantillon D a 1 mill. d'épaisseur, et les autres échantillons, des épaisseurs qui dépassent 5 mill.

4. La pointe s'émousse fortement pendant son emploi sur cet échantillon; la solidité de l'appareil et la résistance à la rupture de la lame ne me permettent pas d'adopter une position de retour supérieure à 3 mill. Les bords du trou obtenus laissent même voir quelques particules détachées. On cherche les valeurs de P et de Q pour le cuivre, avec la même position de retour.

Ces tableaux, malgré l'incertitude qui résulte du défaut d'homogénéité des lames, de l'ignorance de la composition exacte des alliages ou du défaut de pureté du plus grand nombre des métaux essayés, donnent lieu à diverses remarques intéressantes; je n'insisterai que sur l'une d'entre elles. Il a été question, à plusieurs reprises, dans ces derniers temps, de l'usage du bronze d'aluminium dans l'industrie.

On a proposé de l'employer dans la fabrication des canons, et on s'en est servi pour faire des coussinets de machines à vapeur; cette dernière application aurait même réussi[1].

Il résulte des nombres qui précèdent, qu'au point de vue de la dureté normale, le bronze d'aluminium, à 5 % d'aluminium, n'est guère plus dur que le cuivre, et que le bronze d'aluminium, à 10 % d'aluminium, tout en ayant une dureté presque égale à 1 ½ fois celle du cuivre, est cependant, à ce point de vue, inférieur au bronze des canons ou au bronze ordinaire.

1. Voir le *Journal des Débats* du 24 octobre 1863.

CHAPITRE VI.

Comparaison des résultats du précédent chapitre

avec ceux obtenus par MM. Crace-Calvert et Johnson, et avec ceux que Wertheim a déduits de ses recherches sur l'élasticité.

J'ai pensé qu'il y aurait quelque utilité à terminer ce travail par une comparaison des nombres consignés dans le chapitre précédent avec ceux obtenus par d'autres observateurs.

Quoiqu'il y ait des différences notables dans les valeurs numériques, nous nous accordons néanmoins, le plus souvent, dans le classement des corps relativement à la dureté. — Quant aux différences, elles s'expliquent en tenant compte des circonstances différentes dans lesquelles nous avons opéré.

J'ai déjà fait remarquer que la marche suivie par MM. Crace-Calvert et Johnson devait souvent correspondre, à la fois, à la limite d'élasticité et à celle de rupture des lames; j'ai dit que, s'il y a des différences très-notables de dureté entre la surface et la profondeur d'une lame, comme cela devra arriver dans beaucoup de cas, ce sera une valeur intermédiaire de la dureté superficielle et de la dureté dans la profondeur que leur mode d'expérimentation devra donner. — La marche que j'ai suivie devra donner la dureté moyenne superficielle qui répond à l'enfoncement que j'ai adopté. Je dois ajouter que leurs expériences duraient environ trente minutes, tandis que les miennes duraient de une à cinq minutes, sans dépasser une minute pour les corps mous.

De plus les lames dont nous nous sommes servis n'avaient ni le même degré de pureté, ni le même état superficiel.

Enfin, leur définition diffère de la mienne, en ce qu'ils enfoncent un style autre que celui que j'ai employé à une profondeur constante de 3.5 mill., avec la charge, tandis que j'adopte l'enfoncement permanent de 0.1 mill. qui s'obtient, une fois la charge enlevée; quoique la différence m'ait paru peu marquée entre la position de la pointe chargée et de la pointe soustraite ensuite à l'action des poids, lorsque la limite d'élasticité a été franchement dépassée, je pense néanmoins qu'il importe d'en tenir compte, et jointe aux autres causes d'écart qu'on vient de signaler, elle pourra expliquer la divergence de nos résultats.

DURETÉS NORMALES.

MÉTAUX.	CRACE-CALVERT ET JOHNSON.	HUGUENY.
Fonte grise du Straffordshire (à l'air froid)	1,000	Fonte moulée, G. d'Audincourt. 2.32
Acier	958	2.27
Fer forgé	948	1.93
Platine	375	1.50
Cuivre	301	1
Aluminium	271	0.53
Argent	208	0.61
Zinc	183	(fondu) 0.83
Or	167	0.57
Cadmium	108	0.21
Bismuth	52	0.22
Étain	27	0.14
Plomb	16	0.095

J'ai cru devoir mettre, en regard des coefficients d'élasticité donnés par Wertheim pour divers métaux[1], les duretés que j'ai obtenues dans les mêmes cas; les métaux employés par Wertheim étaient purs et recuits; ceux dont je me suis servi étaient polis et tels que les emploie l'industrie.

1. *Annales de chimie et de physique.* 3e série, t. XII, p. 443.

MÉTAUX.	COEFFICIENTS D'ÉLASTICITÉ DE 15° A 20°	DURETÉS DE 20° À 22°.
Plomb	1,727	0.095
Or	5,584	0.57
Argent	7,140	0.61
Cuivre	10,519	1
Platine	15,518	1.50
Fer	20,794	1.64
Acier fondu	19,561	2.27

Je compare enfin aux duretés les limites d'élasticité et les résistances à la rupture lente entre 15° et 20°, données par Wertheim pour les mêmes métaux[1].

MÉTAUX.	LIMITES D'ÉLASTICITÉ.	RÉSISTANCES A LA RUPTURE.	DURETÉS.
Plomb coulé	< 0.05	1.25	0.095
— étiré	0.25	2.07	
— recuit	0.20	1.80	
Étain coulé	«	3.40	0.14
— étiré	0.4 à 0.5	2.45	
— recuit	0.2	1.70	
Cadmium étiré	0.12	2.24	0.21
— recuit	< 0.1	«	
Or étiré	13.5	27	0.57
— recuit	3	10.08	
Argent étiré	11 à 11.5	29	0.61
— recuit	2.5 à 3	16.02	
Zinc distillé coulé	3 à 3.5	1.50	..... fondu 0.83
— ordinaire étiré	0.75	12.80	
— — recuit	1	«	
Palladium étiré	18	«	1.02
— recuit	< 5	27.40	
Cuivre étiré	12	40.30	1
— recuit	< 3	30.54	
Platine étiré	26	34.10	1.50
— recuit	14.5	23.50	
Fer étiré	32.5	61.10	1.64
— recuit	< 5	46.88	
Acier fondu étiré	55.60	«	de cément. 2.27
— recuit	< 5	65.70	

1. Ouvrage cité, p. 438-440.

En terminant, je dois répéter ce que j'ai dit à plusieurs reprises, dans le cours de ces recherches, c'est que si les méthodes expérimentales qu'on y a employées, confirment le lien, la dépendance qui existe entre l'élasticité et la dureté, il conviendra de les ajouter aux moyens connus et employés pour l'étude de l'élasticité; car elles auront l'avantage de fournir des données dans les cas très-nombreux et très-importants où ces derniers ne pourraient être appliqués. Les bronzes, les aciers trempés, les fontes, les bois, les divers matériaux de construction, les cristaux, les matières fragiles ou friables, en général, ne me paraissent guère pouvoir être étudiés que par des procédés analogues à ceux que nous venons de faire connaître, et il n'est pas impossible qu'on parvienne à dégager des expériences, dont le plan a été tracé dans le chapitre II, les coefficients d'élasticité de tous les corps qu'on peut obtenir en lames, mais non sous forme de fils.

En résumé ce travail renferme :

1° La première histoire complète de la dureté;

2° Une définition nouvelle de la dureté *normale* et de la dureté *tangentielle* des corps;

3° Des méthodes pour les déterminer;

4° L'application de l'une de ces méthodes à la recherche des duretés *normales* des métaux et des alliages;

5° La démonstration de la loi, pour certains corps durs, du rapport constant de la résistance tangentielle à la pression normale, quand une pointe vient à rayer leur surface;

6° Les tableaux des duretés normales des métaux et des principaux alliages qui sont employés dans l'industrie.

Vu par le doyen de la Faculté.
Strasbourg, 23 août 1864
A. LEREBOULLET

Permis d'imprimer.
Strasbourg, 24 août 1864.
Le Recteur, DELCASSO.

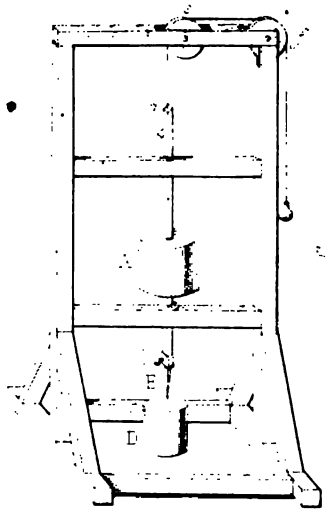


Fig. 2

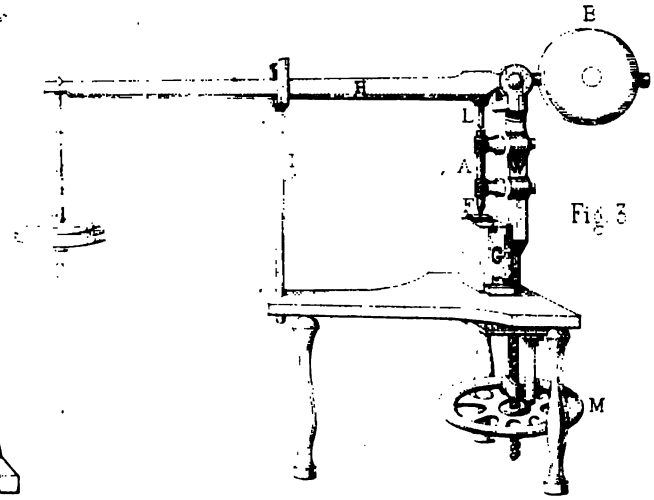


Fig. 3

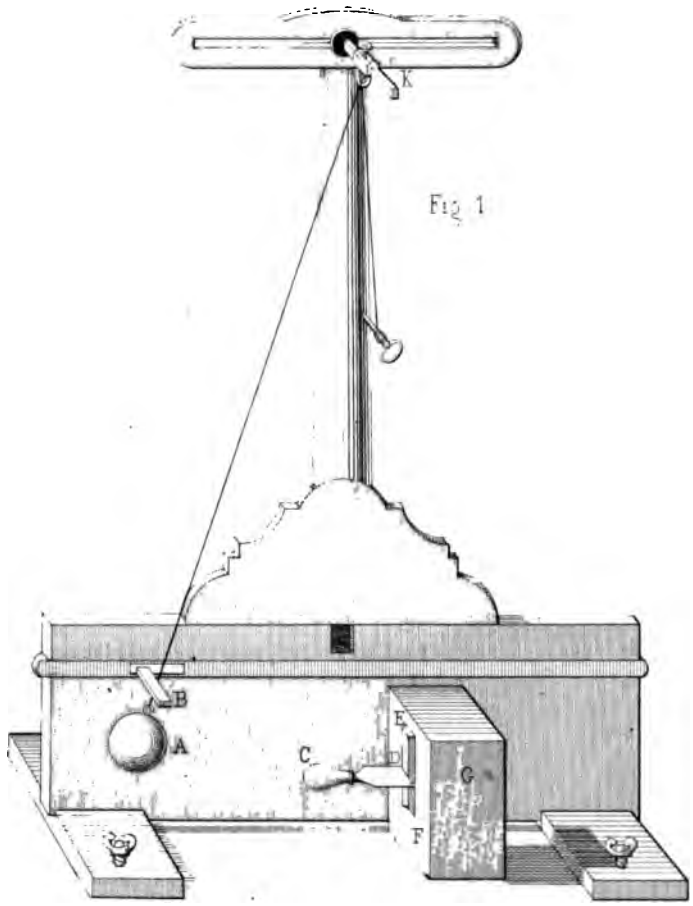


Fig. 1

Lith. E. Simon à Strasbourg

En terminant, je dois répéter ce que j'ai dit à plusieurs reprises, dans le cours de ces recherches, c'est que si les méthodes expérimentales qu'on y a employées, confirment le lien, la dépendance qui existe entre l'élasticité et la dureté, il conviendra de les ajouter aux moyens connus et employés pour l'étude de l'élasticité; car elles auront l'avantage de fournir des données dans les cas très-nombreux et très-importants où ces derniers ne pourraient être appliqués. Les bronzes, les aciers trempés, les fontes, les bois, les divers matériaux de construction, les cristaux, les matières fragiles ou friables, en général, ne me paraissent guère pouvoir être étudiés que par des procédés analogues à ceux que nous venons de faire connaître, et il n'est pas impossible qu'on parvienne à dégager des expériences, dont le plan a été tracé dans le chapitre II, les coefficients d'élasticité de tous les corps qu'on peut obtenir en lames, mais non sous forme de fils.

En résumé ce travail renferme :

1° La première histoire complète de la dureté;

2° Une définition nouvelle de la dureté *normale* et de la dureté *tangentielle* des corps;

3° Des méthodes pour les déterminer;

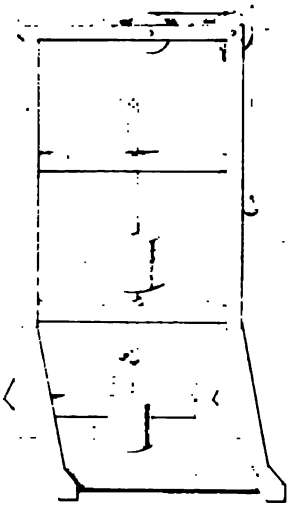
4° L'application de l'une de ces méthodes à la recherche des duretés *normales* des métaux et des alliages;

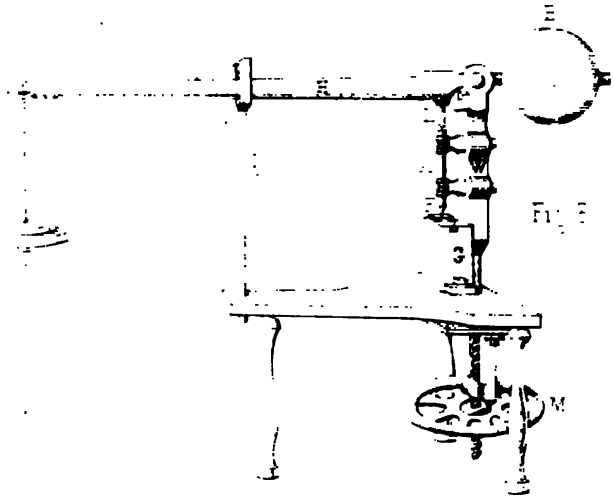
5° La démonstration de la loi, pour certains corps durs, du rapport constant de la résistance tangentielle à la pression normale, quand une pointe vient à rayer leur surface;

6° Les tableaux des duretés normales des métaux et des principaux alliages qui sont employés dans l'industrie.

Vu par le doyen de la Faculté.
Strasbourg, 23 août 1864
A. LEREBOULLET

Permis d'imprimer.
Strasbourg, 24 août 1864.
Le Recteur, DELCASSO.





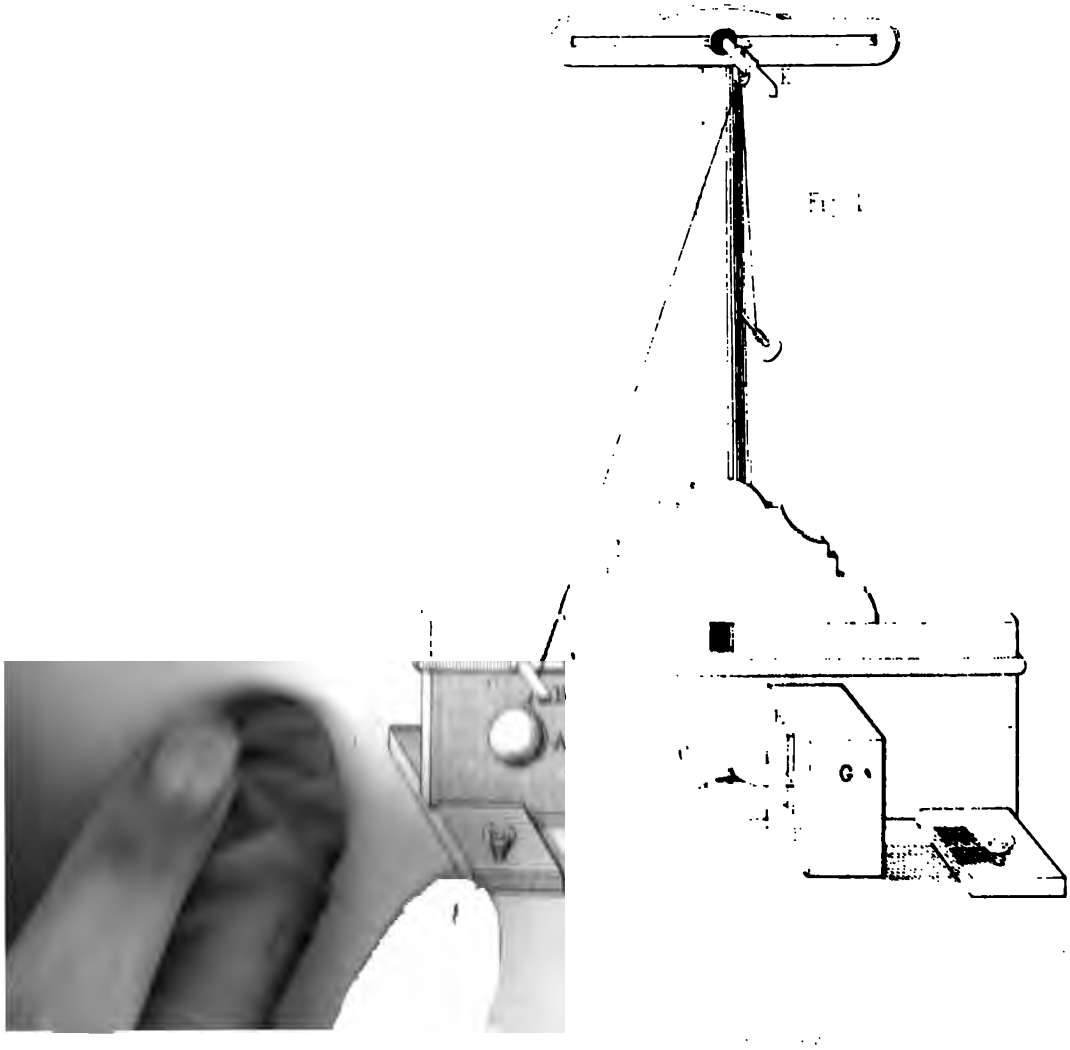
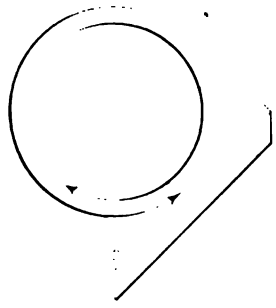


Fig 3



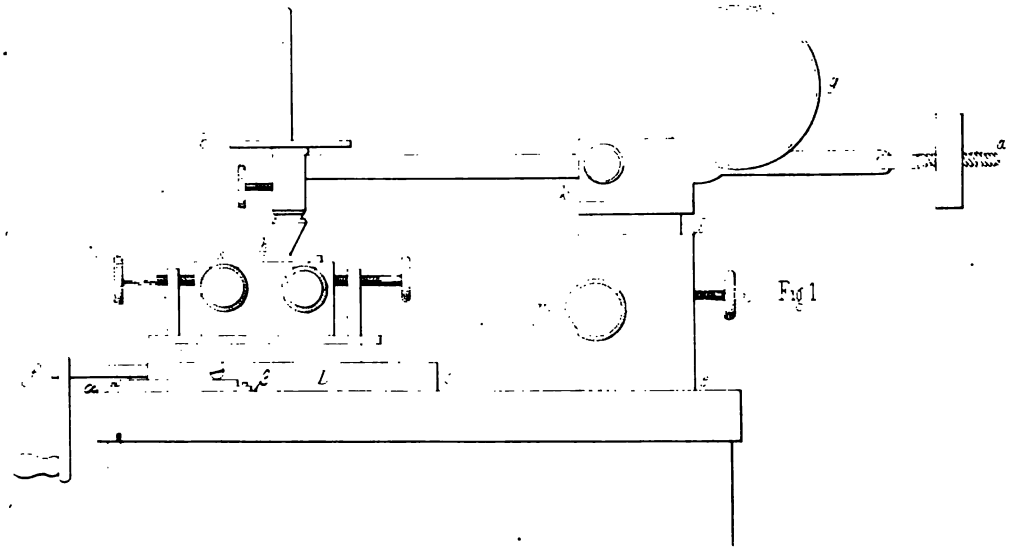


Fig 1

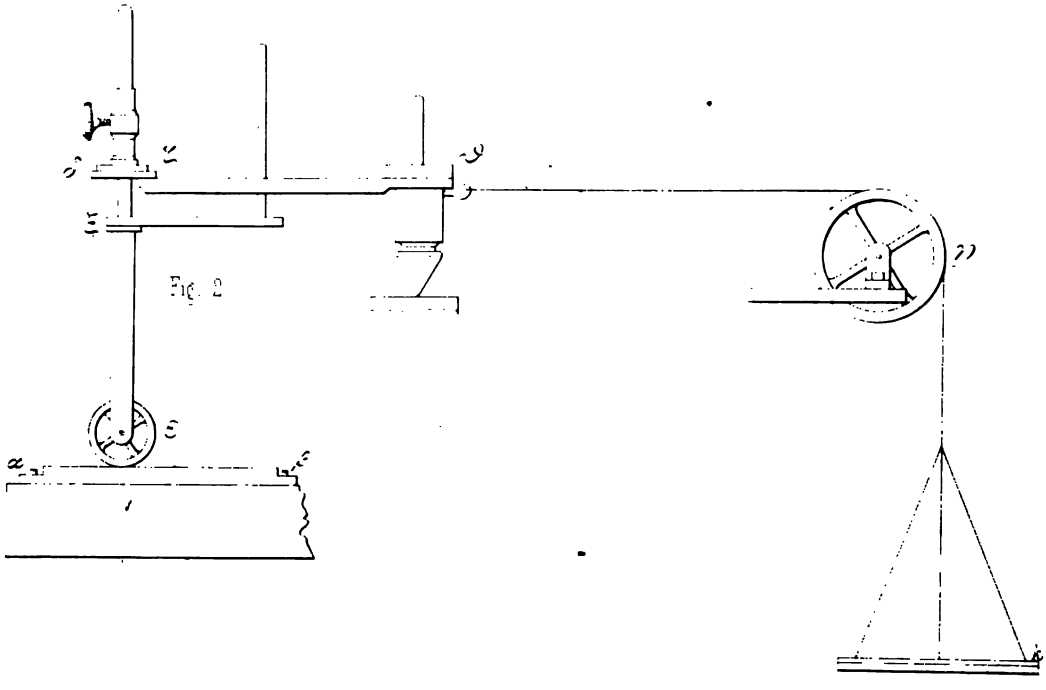


Fig. 2

Lith. H. Simon à Strasbourg.

FERS. — FONTE. — ACIERS.

MÉTAUX.	TEMPÉRATURE.	VALEURS DE P. En grammes.	VALEURS DE Q. En grammes.	DURETÉS.
Fer laminé.	21°,4	4,438	56,176	1.73
Fer forgé	21°,4	4,938	62,535	1.93
Fonte douce[1]	21°,1	4,938	62,535	1.93
Acier non trempé[2]	21°	5,798	73,474	2.27
Acier trempé[3].	21°,1	8,338	105,779	3.26

FERS ET ACIERS[4].

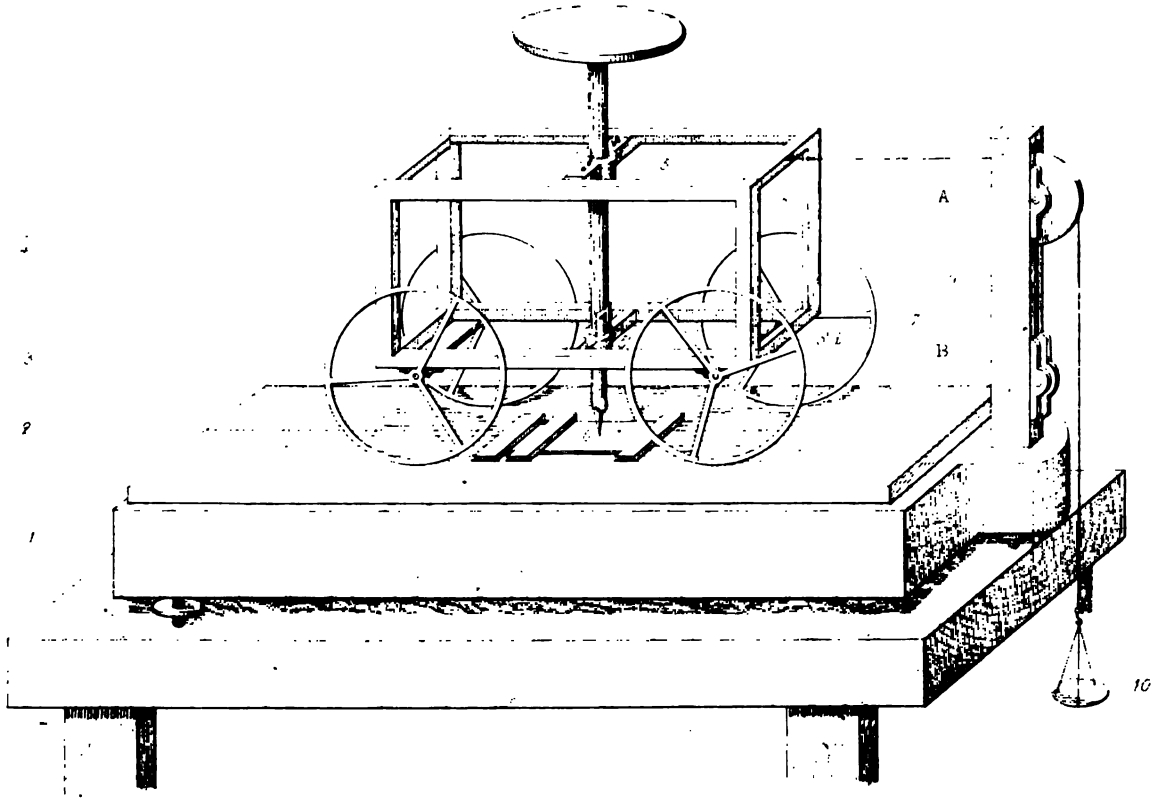
MÉTAUX.	TEMPÉRATURE.	VALEURS DE P. En grammes.	VALEURS DE Q. En grammes.	DURETÉS.
Cuivre laminé et poli[5] . . .	18°,4	3,238	40,913	1
Fer doux recuit	18°,4	5,438	68,894	1.68
Fer doux forgé, non recuit. .	18°,4	7,438	94,332	2.30
Fer doux laminé.	18°,4	6,938	87,972	2.15
Acier cémenté d'Allemagne, non trempé	18°,4	5,538	70,166	1.70
Acier fondu français, non trempé	18°,4	7,438	94,332	2.30
Acier fondu anglais, non trempé	18°,4	7,938	100,691	2.46
Acier cémenté d'Allemagne, trempé à ressort	18°,4	8,938	113,410	2.77
Acier fondu français, trempé à ressort	18°,4	9,938	126,129	3.08
Acier fondu anglais, trempé à ressort	18°,4	10,938	138,847	3.39

1. La lame présente des traces évidentes de rupture, au bord vers lequel la pointe a marché.

2 et 3. J'ignore la provenance de ces aciers et le degré de trempe du dernier; je me propose au surplus de faire une étude spéciale de la dureté des aciers.

4. Ces lames ont été travaillées, ainsi que d'autres dont je compte m'occuper plus tard, par notre habile fabricant d'instruments de chirurgie. M. Elser.

5. Je commence le tableau par le cuivre laminé, parce que la pointe qui a été employée jusqu'à présent, s'est émoussée; sa flèche a diminué et les valeurs de P et de Q ont par cela même dû s'accroître.



F. Gross delin.

Echelle au $\frac{25}{100}$

Lith. E. Simon, à Strasbourg

En terminant, je dois répéter ce que j'ai dit à plusieurs reprises, dans le cours de ces recherches, c'est que si les méthodes expérimentales qu'on y a employées, confirment le lien, la dépendance qui existe entre l'élasticité et la dureté, il conviendra de les ajouter aux moyens connus et employés pour l'étude de l'élasticité; car elles auront l'avantage de fournir des données dans les cas très-nombreux et très-importants où ces derniers ne pourraient être appliqués. Les bronzes, les aciers trempés, les fontes, les bois, les divers matériaux de construction, les cristaux, les matières fragiles ou friables, en général, ne me paraissent guère pouvoir être étudiés que par des procédés analogues à ceux que nous venons de faire connaître, et il n'est pas impossible qu'on parvienne à dégager des expériences, dont le plan a été tracé dans le chapitre II, les coefficients d'élasticité de tous les corps qu'on peut obtenir en lames, mais non sous forme de fils.

En résumé ce travail renferme :

1° La première histoire complète de la dureté;

2° Une définition nouvelle de la dureté *normale* et de la dureté *tangentielle* des corps;

3° Des méthodes pour les déterminer;

4° L'application de l'une de ces méthodes à la recherche des duretés *normales* des métaux et des alliages;

5° La démonstration de la loi, pour certains corps durs, du rapport constant de la résistance tangentielle à la pression normale, quand une pointe vient à rayer leur surface;

6° Les tableaux des duretés normales des métaux et des principaux alliages qui sont employés dans l'industrie.

Vu par le doyen de la Faculté.
Strasbourg, 23 août 1864
A. LEREBOULLET

Permis d'imprimer.
Strasbourg, 24 août 1864.
Le Recteur, DELCASSO.

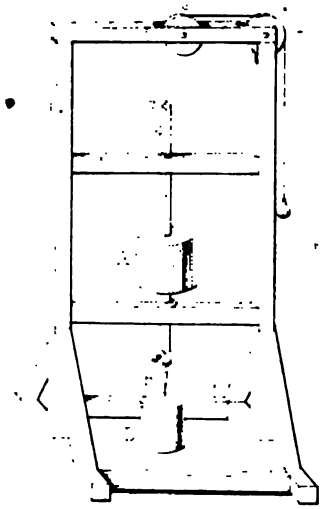


Fig. 2

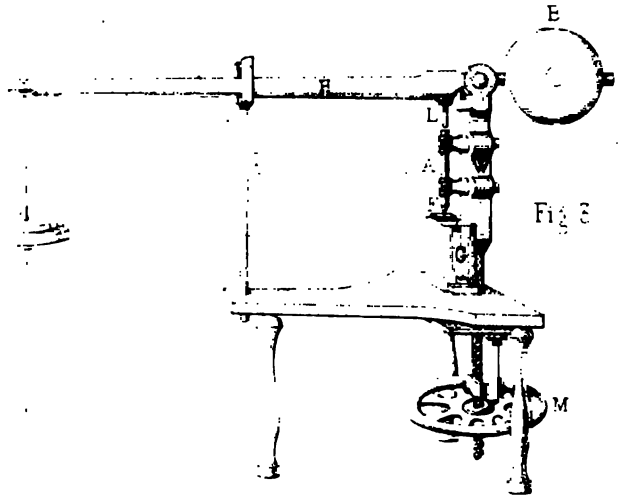


Fig. 3

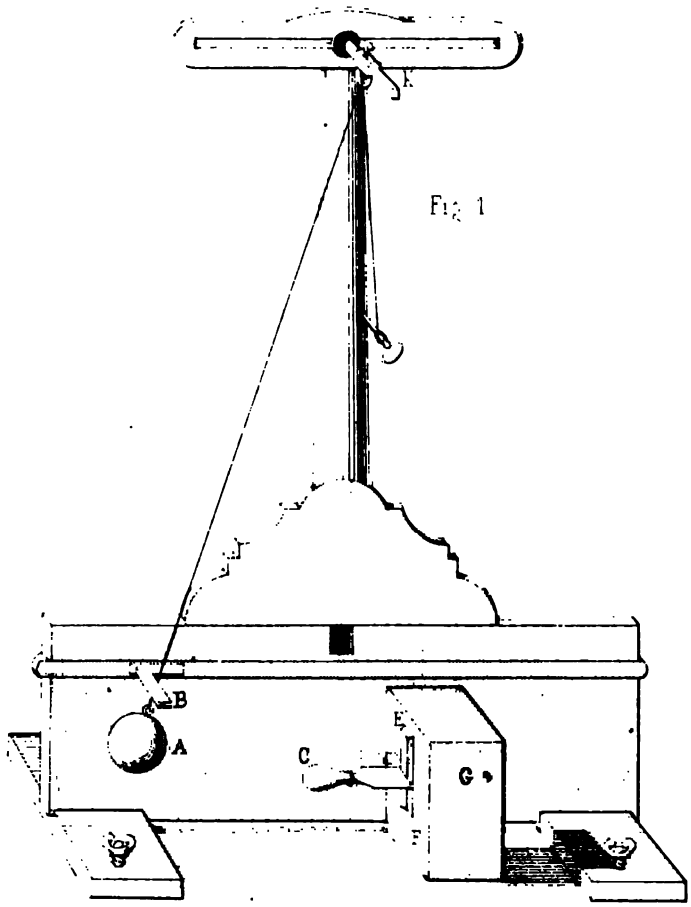
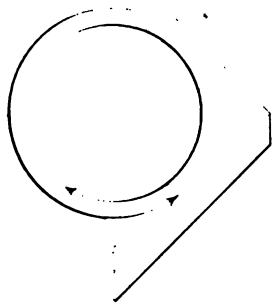


Fig. 1

Fig 3



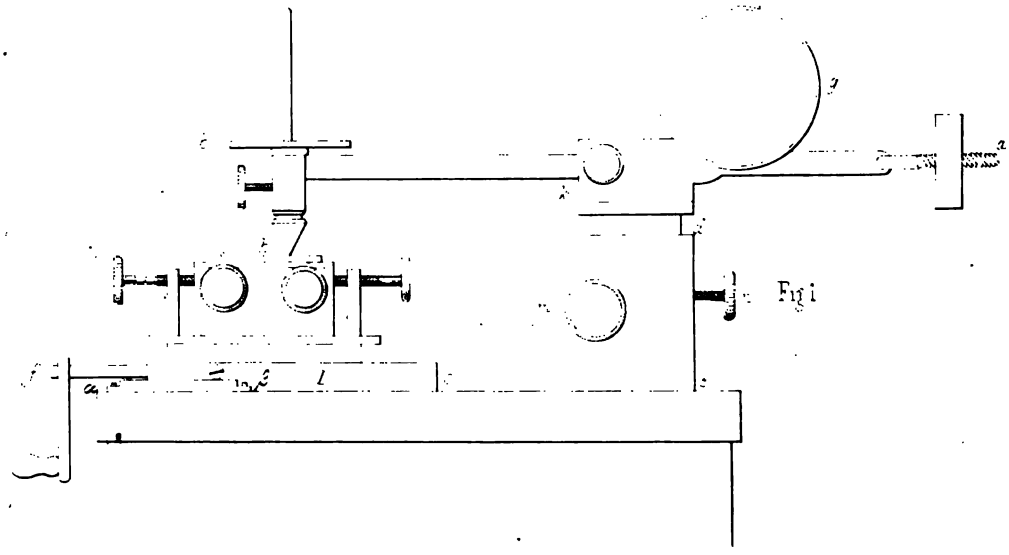


Fig 1

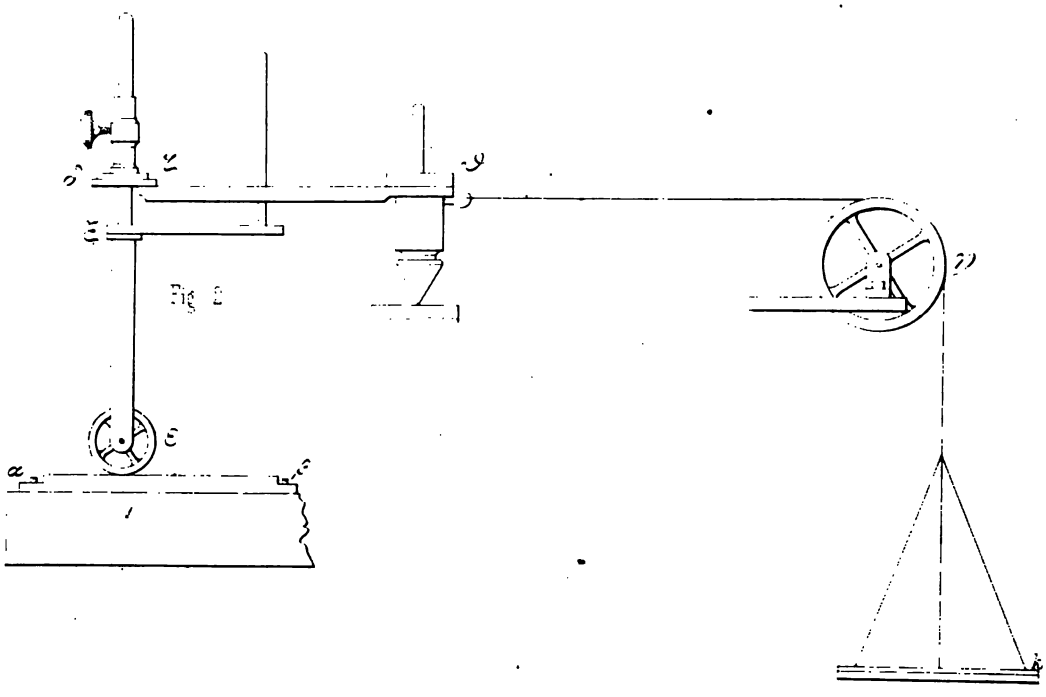
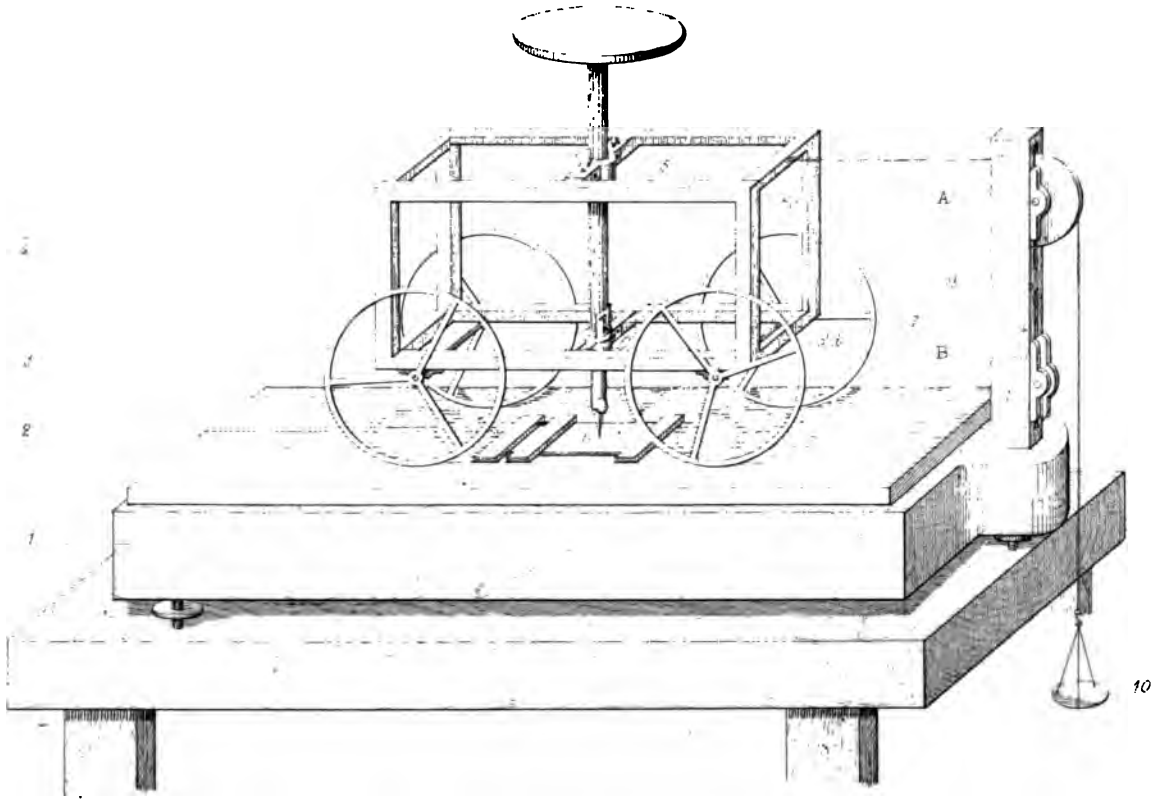


Fig 2

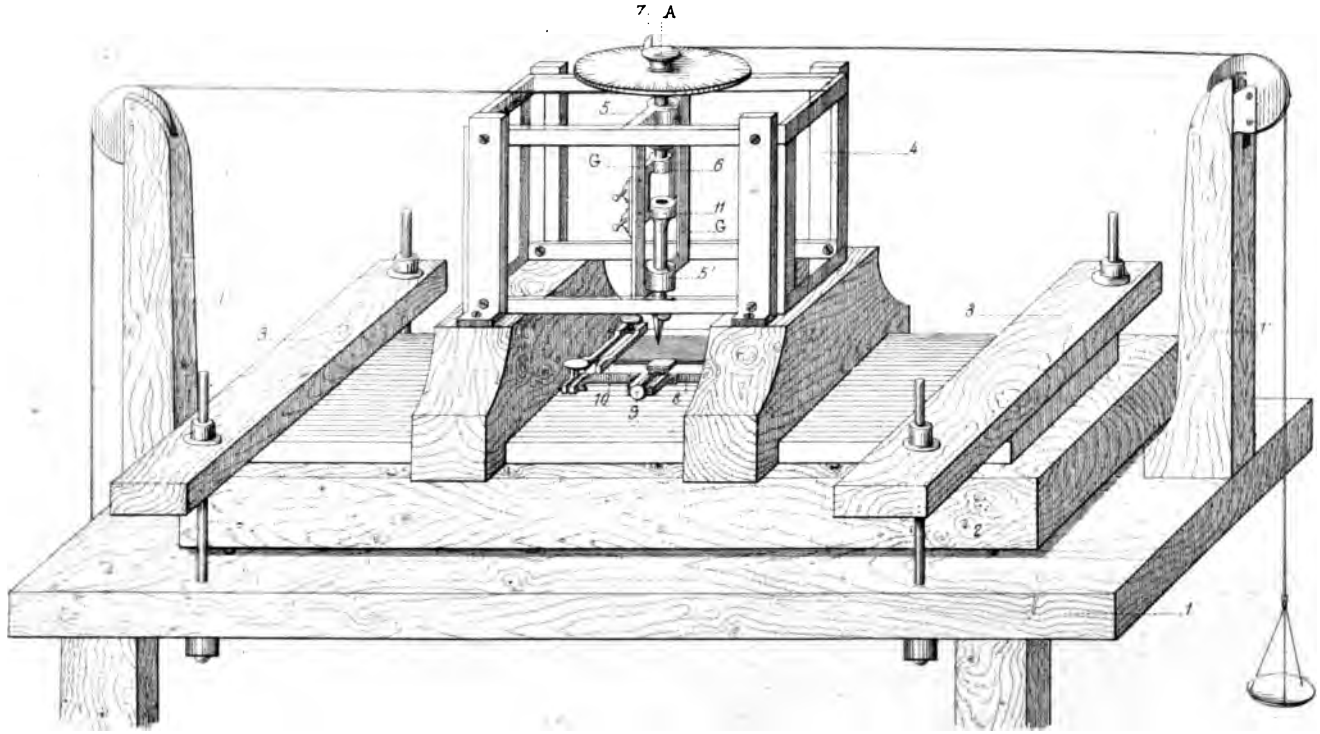
Lith. E. Simon à Strasbourg.



F Gross delin

Echelle au $\frac{25}{100}$

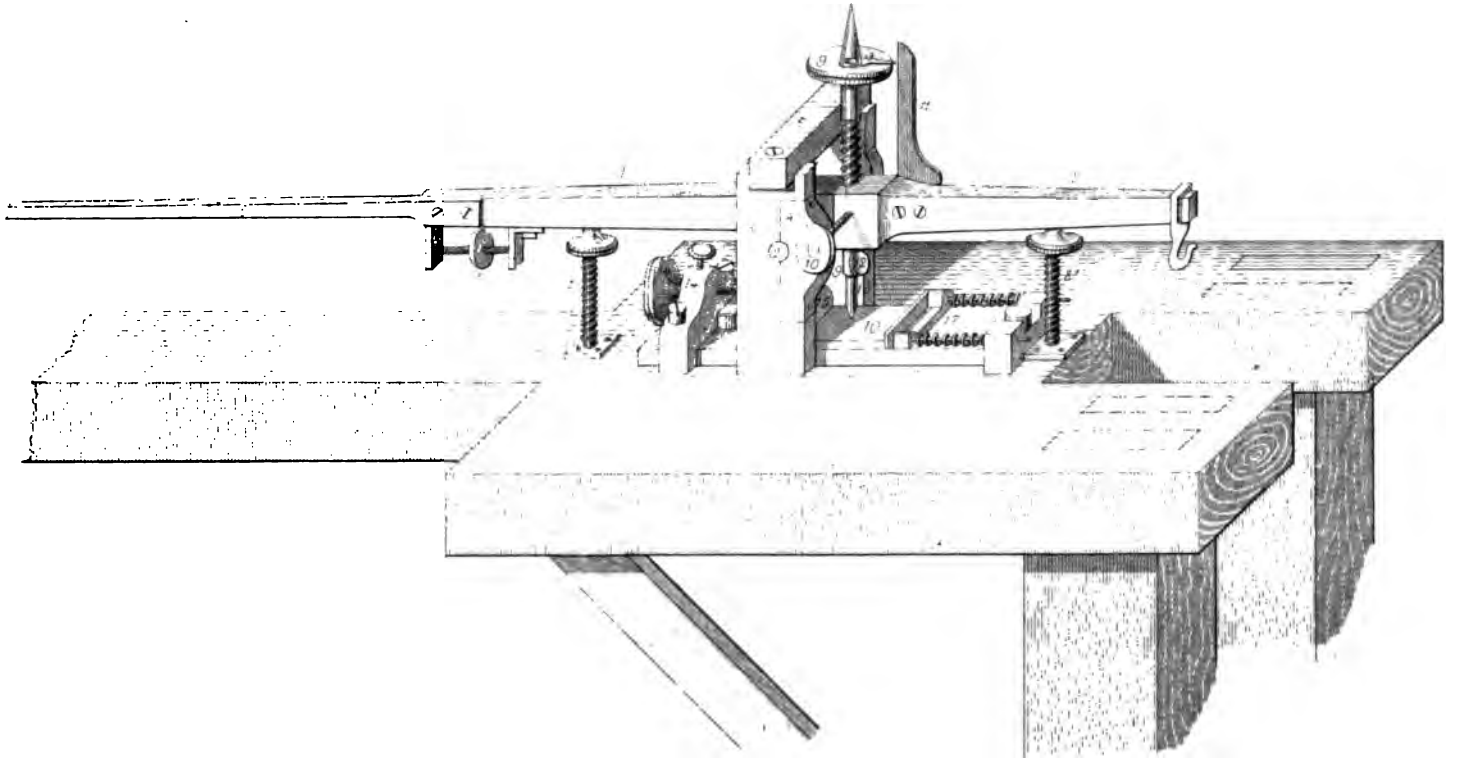
Lith E. Simon, à Strasbourg



Echelle au $\frac{25}{100}$

Lith. E. Simon, à Strasbourg.

Pl. V



Ch. Gerhardt delin. Lith. E. Simon à Strasbourg Echelle au $\frac{25}{100}$

Fig. 1

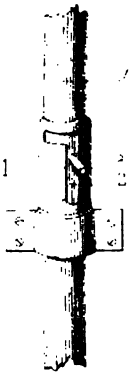


Fig. 2

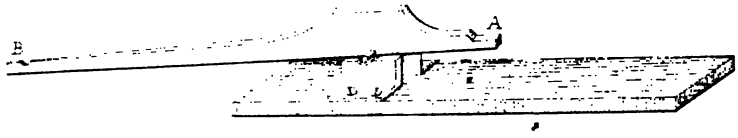


Fig. 3

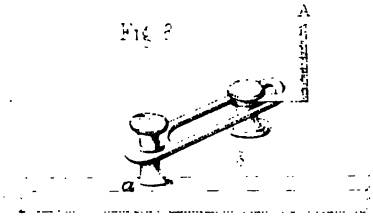


Fig. 4

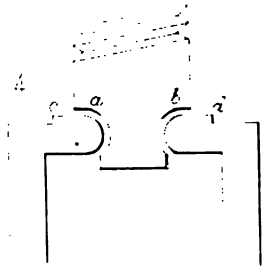


Fig. 5

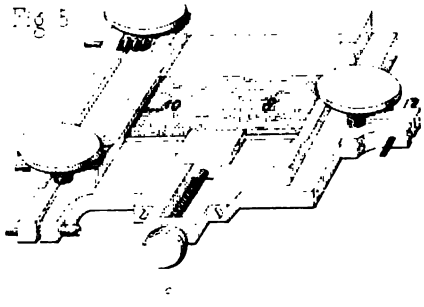


Fig. 6

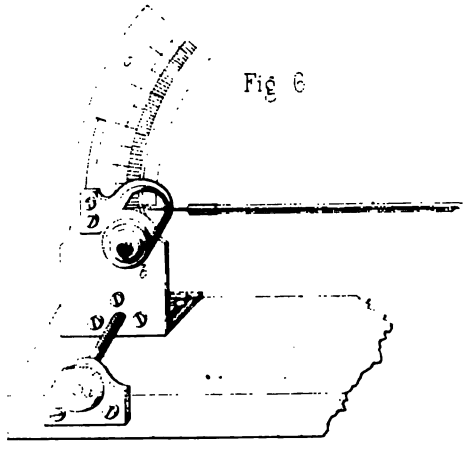
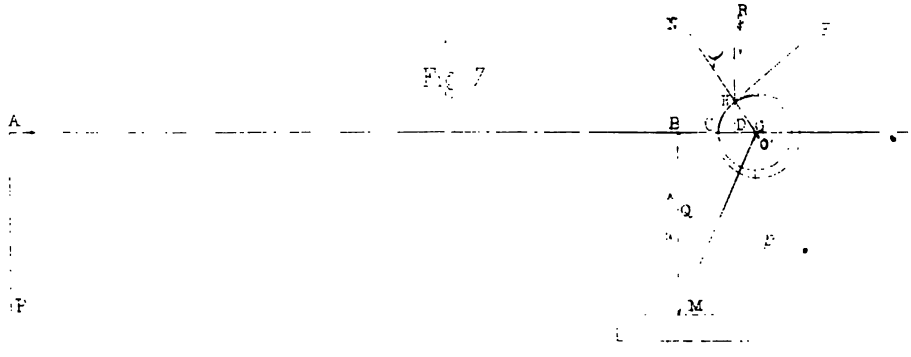


Fig. 7



EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE I.

Fig. 1. Appareil de Muschenbroek.

Fig. 2. Appareil de Vicat.

Fig. 3. Appareil de MM. Crace-Calvert et R. Johnson.

PLANCHE II.

Fig. 1. Appareil de Seebeck, modifié par M. R. Franz.

Fig. 2. Appareil de M. R. Franz.

Fig. 3. Raie obtenue sur une face de spath d'Islande, avec une pointe d'acier.

PLANCHE III.

1. Table en marbre avec vis calantes.
2. Pinces à maintenir les lames.
3. Chariot en bois.
4. Style avec son plateau.
5, 5'. Colliers.
6. Pointe en acier ou en diamant avec sa vis de pression.
7. Portion de surface cylindrique représentée Pl. VI, fig. 1.
8. Crochets destinés à recevoir le cordon qui se terminera par le plateau.
9. Montant avec poulie pouvant se fixer en A ou en B, selon que le cordon lui-même sera fixé au crochet 8 C ou 8 D.
10. Plateau.

PLANCHE IV.

1. Table en bois avec ses montants 1', 1', et les poulies qui les terminent.
2. Table en marbre avec ses vis calantes.
3. Bras en bois servant à maintenir la table de marbre sur la table en bois.
4. Châssis en laiton portant deux traverses supérieure et inférieure; la traverse supérieure constitue un écrou, et reçoit une vis micrométrique terminée par la tête A. — La traverse inférieure 5' forme un collier et porte deux guides verticales G, G rattachées à la traverse supérieure et destinées à maintenir constamment le style dans la même direction.

6. Boîte dans laquelle s'engage l'extrémité inférieure de la vis, représentée en coupe Pl. VI, fig. 4.

7. Pièce représentée Pl. VI, fig. 3.

8. Tablette en laiton avec 3 vis calantes destinée à recevoir les lames et présentant sur le côté une vis de rappel (9) susceptible de produire le déplacement successif de la lame. (Pl. VI, fig. 5.)

10. Pince à ressort destinée à maintenir la lame sur la tablette.

11. Cylindre en laiton traversant le collier 5' et recevant, par le bas, les pointes maintenues à l'aide d'une vis de pression, et destinées à pénétrer dans les lames; ce cylindre se rattache invariablement à la boîte 6 par un châssis rectangulaire maintenu par les guides G, G.

PLANCHE V.

1, 1'. Levier en fer.

2. Axe du levier en acier.

3. Supports en fer.

4. Pièces maintenues à l'aide de vis, et formant la seconde moitié des colliers.

5. Pièce de rejoint des supports.

6. Tige en bois, légère, terminée par une aiguille à pointe fine, en regard d'un cadran divisé en millimètres.

7. Bouton fileté, en cuivre, se mouvant sur une vis fixe destinée à équilibrer le levier.

8, 8'. Vis à tête filetée, servant, la première, à arrêter le levier au zéro du cadran, la seconde à ne permettre l'enfoncement de la pointe qu'avec lenteur, sous la charge appliquée au levier.

9. Vis à tête filetée, recevant par le bas les pointes d'acier ou de diamant qui doivent entamer les lames, et terminée par le haut par une pointe conique d'acier qui permet d'apprécier l'enfoncement par le cathétomètre.

10. Vis de pression servant à arrêter la vis 9 dans son écrou.

11. Index fixé au levier et servant de repère à une aiguille placée sur la tête de la vis 9.

12. Vis de pression qui retient la pointe d'acier 13.

14. Vis de rappel et son écrou pressant, par l'intermédiaire du talon 15, la lame 16.

17. Talon avec ressort, pressant la lame en sens contraire du système 14.

PLANCHE VI.

Fig. 1. Portion de surface cylindrique fixée sur le collier 5' de l'appareil Planche III, portant une rainure dans laquelle s'engage une goupille (3) fixée au style, et empêchant les mouvements de rotation de la pointe.

Fig. 2. Support avec levier appartenant à l'appareil de la Planche IV, et destiné à apprécier les résistances des lames à l'enfoncement.

Fig. 3. Pièce 7 de l'appareil Planche IV, fixée sur l'une des branches du châssis, mobile autour du point *a* et portant une petite règle verticale A divisée servant d'index, mobile dans une rainure et pouvant être arrêtée par une vis de pression.

Fig. 4. Coupe de l'extrémité inférieure de la vis et du collier correspondant de l'appareil de la Planche IV.

Fig. 5. Tablette à vis calantes, recevant les lames.

Fig. 6. Coupe théorique du troisième appareil (Pl. V) pour la détermination de la valeur de Q.

Fig. 7. (*a*) Vis de rappel destinée à placer le limbe (*c*) en regard de l'extrémité de l'aiguille.

(*b*) Loupe avec fil micrométrique, pour apprécier sans erreur tenant à la position de l'œil, les indications de l'aiguille.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Avant-propos v

Bibliographie . . . . . vij

CHAPITRE Ier. — INTRODUCTION HISTORIQUE 1

Observation de Huyghens 2

Expériences de Muschenbroek 2

Définitions de Romé de Lisle 8

— de Werner 9

— de Haüy. 10

Expériences de Wollaston sur la taille du verre par le diamant . . . 12

Remarque de Babbage. 13

Échelle de Mohs 14

Travaux de M. Frankenheim. 19

— de Seebeck 25

— de M. Franz. 36

Appareil de Vicat. 48

— de la fonderie de Strasbourg 49

Recherches de MM. Crace-Calvert et Johnson 49

Procédé américain 51

CHAPITRE II. — DÉFINITION 54

Relations entre la dureté et l'élasticité. 58

Nouvelles recherches à instituer sur l'élasticité. 59

Définition de la dureté normale et de la dureté tangentielle 60

Définition provisoire de la dureté normale 61

CHAPITRE III. — DESCRIPTION DES APPAREILS 63

Appareil n° 1 64

Appareil n° 2. 65

Appareil n° 3. 67

HAPITRE IV. — EXPÉRIENCES ET CAUSES D'ERREUR 70

Premier appareil 70

Deuxième appareil. 77

Troisième appareil. 81

Pages.
CHAPITRE V. — RÉSULTATS OBTENUS 90
Tableau des résistances tangentielles de divers corps 90
Loi de la constance du rapport pour les corps durs, de la résistance tangentielle à la pression normale. 94
Tableau des duretés normales des métaux 96
— des alliages. 96
— du bronze des canons, dans diverses sections et à diverses profondeurs d'une même pièce. . . . 97
Tableau des duretés normales du fer, de la fonte et de l'acier. . . . 98
— des aciers de diverses provenances. . 98
— des fers et des fontes des forges d'Audincourt. 99
Observation sur la dureté des bronzes d'aluminium. 100
CHAPITRE VI. — COMPARAISON DES RÉSULTATS. 101
1° Avec ceux de MM. Crace-Calvert et Johnson. 102
2° Avec ceux obtenus par Wertheim pour l'élasticité de traction . . 103
3° Avec ceux trouvés par Wertheim pour la limite d'élasticité de traction et le coefficient de rupture. 103
Résumé 104
Explication des planches. 105
Table des matières 108
Planches I, II, III, IV, V et VI.

FIN.

ACADÉMIE DE STRASBOURG

FACULTÉ DES SCIENCES

RECHERCHES

SUR

LA COMPOSITION CHIMIQUE ET LES PROPRIÉTÉS

QU'ON DOIT EXIGER

DES EAUX POTABLES

THÈSE DE CHIMIE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE STRASBOURG

Le

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

M. F. HUGUENY

PROFESSEUR DE PHYSIQUE AU LYCÉE IMPÉRIAL DE STRASBOURG

STRASBOURG

IMPRIMERIE DE VEUVE BERGER-LEVRAULT

1864

RECHERCHES

SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE ET LES PROPRIÉTÉS

QU'ON DOIT EXIGER

DES EAUX POTABLES.

J'adopterai, dans l'étude des eaux potables, l'ordre suivant[1] :

1° Matières organiques;
2° Matières inorganiques;
3° Air en dissolution;
4° Température;
5° Odeur, saveur et limpidité;
6° Usages.

CHAPITRE Ier

Matières organiques.

Les matières organiques ont une influence fâcheuse sur l'économie, quand elles existent dans les eaux en quantité appréciable par l'organe du goût ou par celui de l'odorat, et qu'elles ont éprouvé une décomposition plus ou moins complète. L'observation montre, en effet, que les fièvres paludéennes, les dyssenteries et quelques autres affections dont il sera parlé plus loin, peuvent être le résultat de l'usage des eaux stagnantes et croupies.

1. J'éviterai à dessein les expressions d'eaux crues, lourdes, légères, douces, dures, parce qu'elles manquent de clarté.

AVANT-PROPOS.

Il y a cinq ans, l'ingénieur municipal de Strasbourg, M. Lornier, s'occupant des études relatives à un projet de distribution d'eau, me pria de m'associer à une partie de ses travaux. Les diverses recherches que je fis à cette époque et depuis m'ont conduit à envisager la question des eaux potables dans son ensemble, et quoique les résultats auxquels je suis arrivé ne soient pas définitifs sur tous les points, j'ai pensé qu'il ne serait pas inutile de les faire connaître.

Personne n'ignore que l'étude des eaux potables est fort délicate, et que, jusqu'à présent, elle est restée dans un vague d'où il est urgent de la faire sortir.

Quoique, dans un petit nombre de cas, on puisse constater immédiatement l'influence des eaux sur la santé publique, le plus souvent c'est de l'usage prolongé des mauvaises eaux que résultent des modifications fâcheuses de la constitution des populations. A ces modifications s'en joignent qui sont dues à d'autres causes; il est difficile sans doute de démêler ce qui appartient à chacune d'elles; toutefois on peut admettre que l'eau potable est l'une des principales, et c'est cette opinion qui a provoqué ces recherches.

Je n'ai pas la prétention d'avoir levé toutes les difficultés; mais je crois en avoir écarté d'imaginaires, en avoir

résolu quelques-unes et avoir signalé celles dont il importait de chercher promptement la solution.

Je dois ajouter que cette étude n'est pas une œuvre rapide; s'il y reste encore quelques points obscurs, il faut s'en prendre surtout à ce que la science ne possède pas de méthode pour reconnaître d'une manière certaine dans les eaux les proportions de matières organiques animales et végétales, le degré de leur altération et l'influence de ces matières, altérées ou non et en proportions plus ou moins faibles, sur la santé.

Ce travail était à peu près complétement terminé, et plusieurs de ses chapitres avaient été lus dans les séances du 3 juin, du 5 août et du 2 décembre 1862 de la Société des sciences naturelles de Strasbourg, lorsque j'ai eu connaissance du rapport remarquable[1] que MM. Poggiale, Boudet et Tardieu ont présenté à l'Académie de médecine, le 13 novembre 1862, sur le mémoire de M. Lefort relatif à l'aération des eaux, et de la discussion qui l'a suivi.

On verra, en parcourant ces recherches, que mes conclusions diffèrent, sur plusieurs points, de celles de ce rapport. Quant à la discussion, je dirai que si elle a été intéressante par les questions qu'elle a soulevées, elle a présenté quelquefois le spectacle d'adversaires divisés en deux camps, et plus occupés des eaux de Seine filtrées ou de celles de la Dhuis que de la question générale des qualités des eaux potables. J'étais dans des conditions qui ne m'exposaient pas à cet écueil.

J'ai étudié, sans parti pris, l'influence sur la santé, des diverses matières qui se trouvent ordinairement en disso-

1. *Gazette médicale de Paris* du 29 novembre 1862 et numéros suivants.

lution ou en suspension dans les eaux, ainsi que celle de la température, et j'ai tiré de l'observation des faits et des résultats fournis par l'analyse chimique un certain nombre de règles que j'ai classées selon leur importance et auxquelles je pense qu'on devra s'astreindre dans le choix de la meilleure eau potable d'une localité donnée.

Parmi ces règles, les unes étaient admises empiriquement, les autres controversées; quelques-unes m'appartiennent; on a donné à l'Académie de médecine et ailleurs des arguments variés pour les établir. Ce qui caractérise la plupart des miens et ce qui donnera peut-être quelque valeur à ce travail, c'est qu'après avoir cherché si les principes qui peuvent exister dans les eaux avaient leur raison d'être dans l'organisme humain, j'ai comparé les matières inorganiques contenues dans les eaux avec celles renfermées dans les aliments; on constate ainsi que les premières sont souvent en proportions négligeables relativement aux secondes, de sorte qu'on pourra ne pas tenir compte dans les eaux de certains corps qui semblent devoir y être nuisibles.

Il arrive toutefois, pour certaines matières inorganiques, que leur proportion, dans l'eau consommée, peut être égale ou supérieure à celle des mêmes principes contenue dans les aliments; dans ce cas, il faut s'assurer de l'utilité de l'introduction de ces matières dans l'économie, chercher en quelle proportion elles doivent y pénétrer et en quelle proportion elles entrent dans les aliments, l'eau exceptée.

De la comparaison de ces nombres on déduira l'opportunité dans les eaux des matières dont on s'est occupé.

En procédant comme je viens de le dire, je suis arrivé, si je ne m'abuse, à asseoir sur une base certaine la solu-

tion de la question si controversée de la nécessité de la chaux dans les eaux.

En m'appuyant sur les résultats que l'analyse et l'observation ont pu fournir, j'ai pu faire la séparation des matières utiles à l'économie ou inoffensives que les eaux peuvent contenir et de celles qui, étant nuisibles, ne doivent pas s'y trouver.

L'utilité de l'aération des eaux a été discutée à nouveau, et on a fait, pour éclaircir la question, quelques essais qui devront être répétés.

L'examen de la température qui convient à l'eau prise comme boisson, a été le sujet d'un chapitre particulier, et, pour compléter ces recherches, on a dû parler de l'emploi de l'eau dans l'économie domestique et dans l'industrie.

Je revoyais ce travail quand j'ai reçu l'ouvrage intéressant de M. Grimaud de Caux : *Des eaux publiques et de leurs applications*[1], et la brochure du docteur Linas : *Sur les eaux de Paris*[2]. Ces deux auteurs ont étudié la question des eaux à un point de vue différent du mien; je puis donc me borner à les citer.

Je ferai toutefois une réserve pour M. Grimaud de Caux qui présentait une note à l'Académie des sciences (séance du 13 octobre 1862) pour établir que la chaux n'est pas nécessaire dans les eaux; j'étais arrivé à une conclusion semblable, quoique moins absolue, dans une communication faite à la Société des sciences naturelles de Strasbourg (séance du 5 août 1862). Il est vrai que les considérations qui nous conduisent à peu près au même résultat sont d'ordre bien différent, de sorte que si

1. Paris, Dezobry, 1863, 1 vol. in-8°.
2. Paris, Dentu, 1862, 1 broch. in-8°.

la priorité de la conclusion m'appartient, je dois reconnaître que M. Grimaud de Caux y est arrivé par une autre voie que moi.

M. Chevreul a publié en 1863 un mémoire qui porte pour titre : *Considérations sur la philosophie et applications à la médecine*[1] où j'ai trouvé le passage suivant : « L'opinion d'après laquelle on préfère les eaux calcaires aux « eaux de fleuve ou de rivière est fondée chez beaucoup « de gens sur la nécessité de la présence des sels calcaires dans l'économie animale. Cette opinion serait admissible si, la ration donnée à des hommes ou à des « animaux ne renfermant pas ce qui convient à leur développement ou à leur entretien, il y avait nécessité de « recourir à un complément. Mais dans le régime ordinaire, « en tenant compte de la matière calcaire contenue dans « le vin, la viande, les légumes, les fruits, le foin, la « paille, les diverses graines, etc., la nécessité d'une eau « calcaire ne me paraît pas démontrée dans les cas les « plus ordinaires. »

On comprendra qu'en citant ici l'illustre chimiste, je n'ai pas pour but une revendication de priorité; je ne veux qu'ajouter plus d'autorité à la proposition discutée et établie dans ce mémoire : que la chaux, la magnésie et les autres composés inorganiques que l'on trouve dans les aliments y sont le plus souvent en proportions telles qu'il est inutile d'en emprunter une partie aux eaux de consommation; et, en conséquence, que les eaux les plus pures doivent être préférées en général[2].

---

1. Paris, Firmin-Didot, 1863, 1 broch. in-4°.

2. On verra, dans les conclusions relatives à la chaux, les restrictions qu'il convient d'apporter provisoirement à cette proposition.

Je termine par une dernière observation.

Un travail du genre de celui-ci nécessitait des emprunts nombreux : je n'ai pas craint de les faire, en citant toujours scrupuleusement et autant que possible textuellement chaque auteur, pour laisser à chacun la part de mérite, mais aussi la part de responsabilité qui lui revient. On aura ainsi, sous la main, presque toutes les pièces du procès, et s'il en manque quelques-unes, ce sont autant de *desiderata* que la science devra fournir plus tard. En attendant, le lecteur pourra contrôler en connaissance de cause les opinions que j'ai discutées, les faits sur lesquels elles reposent et les conclusions auxquelles j'ai été conduit.

Je manquerais à un devoir si, en finissant, je ne remerciais les personnes qui ont eu l'obligeance de me transmettre quelques-uns des renseignements dont j'ai fait usage dans ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

RELATIVE AUX EAUX POTABLES.

Comptes rendus de l'Académie des sciences.

Annales de chimie et de physique.

Annalen der Chemie und Pharmacie, de LIEBIG et WÖHLER.

Journal de chimie et de pharmacie.

Annuaire des eaux de la France.

Recueil de mémoires de médecine militaire.

Mémoires de la Société des sciences naturelles de Strasbourg.

Annales des sciences physiques et naturelles, d'agriculture et d'industrie, publiées par la Société impériale d'agriculture de Lyon.

Mémoires de l'Académie de Stanislas de Nancy.

Mémoires de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.

Mémoires de la Société des sciences de Toulouse.

Annales de la Société d'hydrologie médicale de Paris.

Gazette médicale de Paris.

Revue d'hydrologie médicale française et étrangère, publiée par le docteur ROBERT.

Annales de la Société des sciences naturelles du grand-duché de Luxembourg.

HIPPOCRATE. *Des airs, des eaux et des lieux.*

PARMENTIER. *Dissertation sur la nature des eaux de la Seine.* Paris, 1787.

R. DE SAUSSURE. *Voyage dans les Alpes.* Genève, 1787.

DUPASQUIER. *Des eaux de source et des eaux de rivière.* Paris, 1840.

BERTHIER. *Des essais par la voie sèche.* Paris, 1834.

BOUSSINGAULT. *Économie rurale.* Paris, 1843.

Mémoires de chimie agricole et de physiologie. Paris, 1854.

3° *Méthode du Formulaire pharmaceutique des hôpitaux militaires français.*

Le résidu obtenu, après l'évaporation de l'eau, ayant été desséché à 130° dans une capsule de platine et pesé, est calciné au contact de l'air et au rouge. Il est pesé de nouveau, après destruction complète de la matière organique, et la différence de poids donne *approximativement* le poids de la matière organique.

Il est regrettable que sur un sujet si important le Formulaire ne renferme pas plus de développements.

Quoi qu'il en soit, cette méthode n'est pas à l'abri de toute critique; et d'abord on doit faire remarquer que la calcination peut transformer partiellement les sulfates et les phosphates du résidu salin en sulfures et en phosphures, que de plus l'eau de combinaison des sels qui a résisté à la température de 130°, s'est dégagée partiellement du moins, à la température rouge. Par conséquent, la différence des poids obtenus après la calcination au rouge et après avoir desséché le résidu à 130° donne un résultat trop élevé, et, comme on le voit, fort incertain. On ajoute ordinairement, pour masquer cette cause d'erreur, ou du moins pour n'en pas accepter la responsabilité, dans les tableaux d'analyse, *matière organique et eau combinée.* Mais quelle est la part de l'eau? quelle est la part de la matière organique? c'est ce qu'on ne cherche pas à savoir. Cette méthode ne résiste donc pas plus à l'examen que les précédentes.

4° *Méthode de M. Émile Monnier.*

La marche employée récemment par M. Monnier pour le dosage des matières organiques dans les eaux est une application nouvelle, indiquée en 1850 par M. Schrotter, d'un procédé de dosage du fer par la voie humide imaginée par M. Marguerite[1]. Elle consiste dans l'emploi d'une liqueur titrée de per-

1. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XVIII, 1846, p. 244.

manganate de potasse obtenue en dissolvant 1 gr. de permanganate dans 1 litre d'eau distillée pure. Le nombre de centimètres cubes de la liqueur titrée, versée dans 1 demi-litre d'eau mêlée à 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur, et portée à la température de 70°, jusqu'à l'apparition de la teinte rosée fournie par le permanganate, indique le nombre de milligrammes de sel réduit.

M. Monnier suppose que le poids de sel décomposé est sensiblement proportionnel à celui des matières organiques, et dès lors les poids en milligrammes de permanganate lui semblent pouvoir représenter les rapports des poids des matières organiques elles-mêmes.

Il y a diverses objections à faire à cette méthode : les unes relatives au procédé analytique, et les autres relatives à l'hypothèse sur laquelle il repose.

Pour les premières je ferai remarquer d'abord que rien ne démontre que l'oxygène en dissolution dans l'eau n'intervient pas dans la combustion des matières organiques.

En second lieu, si l'eau renfermait des sels de protoxyde de fer, des nitrites, comme cela semble pouvoir résulter des expériences de M. Schœnbein, on attribuerait aux matières organiques la décomposition de permanganate produite par ces composés. Il y a donc là une cause d'incertitude qui peut empêcher d'accorder une confiance entière au procédé dont nous nous occupons.

Quant aux secondes, elles peuvent se formuler ainsi : En admettant l'exactitude de la méthode employée, il y aurait à distinguer trois cas : le premier, où la matière organique peut être considérée comme formée par du charbon et de l'eau. Dans ce cas, le poids de permanganate réduit est proportionnel au nombre d'équivalents de charbon de la matière organique. Dans le second, la matière organique est formée de charbon, d'eau et d'oxygène en excès. Le permanganate réduit sera proportionnel au nombre d'équivalents d'oxygène

qu'il faudrait ajouter à ceux de la matière organique pour transformer le charbon en acide carbonique. En troisième lieu, si la matière organique se compose de charbon, d'eau et d'hydrogène, il faudra employer une proportion de permanganate correspondante au nombre d'équivalents de charbon et d'hydrogène. Or, à moins d'admettre, ce qui semble impossible *à priori*, que la matière organique contenue dans les eaux a invariablement la même composition, on voit facilement que la méthode pèche par la base, c'est-à-dire qu'elle donne des résultats qui ne sont nullement comparables.

A l'appui des observations qui précèdent, je prends les nombres fournis par la communication faite par M. Monnier à l'Institut. Il paraîtra fort extraordinaire certainement que les eaux de la Seine à Bercy (amont) décomposent 6 milligr. de permanganate par litre, et qu'à Passy, après avoir reçu les immondices de Paris, ces mêmes eaux ne donnent que 7.1 milligr. par litre, c'est-à-dire 1.1 milligr. en sus de ce qu'on a obtenu en amont;

En deuxième lieu, alors que la variation des nitrates et de l'ammoniaque contenus dans les eaux des puits de Paris présente des écarts si étendus, que les eaux de divers puits ne réduisent que de 3 à 12 milligr. de permanganate.

Pour ce qui concerne l'eau distillée, je ne voudrais pas nier qu'elle ne renferme pas de matières organiques. Mais il faudrait qu'il me fût bien démontré qu'on ne peut attribuer à une autre cause la réduction du permanganate qui peut s'y élever de 1 à 3 milligr.

Si je ne m'abuse, je crois avoir établi, par l'examen que je viens de faire des divers procédés d'analyse des matières organiques, qu'aucun d'entre eux ne présente le caractère de certitude qu'on est en droit d'exiger d'une méthode dont on se propose de tirer les inductions les plus importantes relatives à la salubrité des eaux.

Je dois d'ailleurs faire remarquer que la plupart des chi-

mistes qui ont recherché les matières organiques dans les eaux ont avoué n'avoir qu'une confiance médiocre dans les résultats qu'ils avaient obtenus. Aussi me dispenserai-je de donner les nombres qui sont dus à plusieurs d'entre eux.

Je me bornerai à indiquer les limites de quelques-uns des résultats obtenus par ces diverses méthodes.

MM. Roger et Lévy ont trouvé par litre d'eau pour l'Ill à Strasbourg de 10 à 13 milligr. de matières organiques; pour certains puits de Strasbourg, de 30 à 55 milligr.[1]

M. Fauré[2] donne : pour les cours d'eau du département de la Gironde, de 3 à 42 milligr.; pour les sources, les fontaines et les puits, de 3 à 28 milligr.; pour les lagunes, de 11 à 16 milligr.; pour les marais, de 38 à 44 milligr.; pour l'eau du sous-sol des Landes, de 20 à 217 milligr.

Le tableau analytique des eaux donné par M. Hervé-Mangon[3] contient pour les matières organiques et l'eau combinée des nombres qui varient de 3 à 109 milligr. par litre dans les eaux de sources, de rivières, de fleuves et d'étangs.

M. Mangon, pour les eaux de la Dhuis[4], trouve : eau combinée et matières organiques, 17 milligr.

M. F. Boudet donne pour la Seine, au pont d'Ivry, le 18 juin 1861, par litre (le fleuve étant seulement à 8 centim. au-dessus de l'étiage) : eau combinée et matières organiques, 40 milligr.[5]

M. Poggiale, pour l'eau de la Seine prise au pont d'Ivry, obtient, le 11 mars 1853, à la cote de $4^m,5$ à l'échelle du Pont-Royal : eau combinée et matières organiques, quantité notable; le 4 août 1853 à la cote de $0^m,90$: eau combinée et matières organiques, 111 milligr.[6]

1. *Recueil de Mémoires de médecine et de chirurgie militaires*, t. XXIII.
2. Fauré, ouvrage cité.
3. *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*, Paris, Lacroix, p. 174, art. EAUX.
4. Figuier, *les Eaux de Paris*. Paris, Michel Lévy, 1862; 1 vol. in-12, p. 245.
5. *Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. II, p. 252.
6. Figuier, *les Eaux de Paris*, p. 245.

J'ai trouvé, en employant le permanganate de potasse, que les eaux de quelques sources des environs de Barr (Bas-Rhin), prises à leur point d'émergence, réduisaient moins de 1 milligr. de ce sel.

M. Hepp[1] donne comme proportion de permanganate de potasse réduit par litre :

Rhin, 4 milligr.; Ill, de 7 à 8 milligr.; et pour un certain nombre des puits de Strasbourg, de 1 à 44 milligr.

J'ajoute que les auteurs de l'*Hydrographie médicale de Strasbourg*, MM. les docteurs Stœber et Tourdes, ont fait cette remarque intéressante[2], que plus un des puits creusés ou forés dans la nappe souterraine de la vallée du Rhin est profond, moins il contient de matières organiques et moins aussi le résidu fixe est considérable.

§ 2. Observations micrographiques.

Le microscope peut fournir des indications précieuses pour la recherche de la présence des matières organiques dans les eaux et sur l'état plus ou moins avancé de leur décomposition; et il est très-probable qu'on en fera plus tard un usage fréquent à ce double point de vue. Dupasquier avait compris le parti qu'on pouvait tirer de ce moyen d'investigation[3], mais malheureusement il ne put faire lui-même les observations relatives à l'examen comparé des eaux du Rhône à Lyon et des eaux des sources de Roye, de Ronzier, de Fontaine et de Neuville.

Cet examen, entrepris de février à juin 1839, fut confié à

---

1. *Hydrographie médicale de Strasbourg*, par MM. Stœber et Tourdes, p. 124 et 128.

2. Ouvrage cité, p. 128. — M. Daubrée avait fait, dans sa *Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin*, p. 355, une observation analogue, que je citerai textuellement plus loin.

3. Dupasquier, *Des eaux de source et des eaux de rivière*, Lyon, Savy; 1840, p. 222.

un micrographe connu par de remarquables travaux, M. le docteur Donné; mais les eaux qui avaient été transportées de Lyon à Paris, avaient été en mouvement continuel, et leur température avait dû se ramener à la température ambiante, ce qui donne lieu à une grande incertitude sur les résultats obtenus.

Je m'abstiens, en conséquence, de rapporter les conclusions auxquelles ces observations ont conduit.

Je me borne à rappeler que M. Donné a constaté l'existence dans les eaux citées de matières organisées végétales et d'infusoires nombreux (vibrions, monades, volvoces, trichodes, vorticelles, orcillaires, nostocs, protomènes, etc.)[1].

M. le docteur Morel a fait sur des eaux de puits de Strasbourg des observations analogues[2]. « Cinq échantillons d'eaux « ont été conservés du 8 mars au 29 juin 1861 et furent « examinés à diverses reprises. Le huitième jour, toutes ces « eaux présentaient des infusoires en nombre variable et de « même nature. Pendant un mois, le nombre des infusoires a « été en augmentant, puis il a diminué. Le 29 juin on trouvait « dans toutes les eaux des spores végétales très-caractérisées « et de la matière verte. »

Les observations des deux savants micrographes que je viens de citer présentent une lacune sur laquelle il est indispensable d'insister. C'est en général pendant 24 heures ou 48 heures au plus que se conserve l'eau destinée à l'alimentation[3]. Quelle que soit son origine, il importe aux diverses températures de l'année de s'assurer s'il y a, pendant cette période de temps, développement d'infusoires et de déterminer leur espèce, l'eau ayant été renfermée dans des vases en terre, en grès, ou dans des baquets en bois.

Pour compléter cette étude, on pourra laisser l'eau séjour-

1. Dupasquier, ouvrage cité, p. 323-340.
2. *Hydrologie médicale de Strasbourg*, p. 127.
3. J'excepte le cas de l'eau conservée sur les navires.

ner plus longtemps dans ces récipients, et voir, pour chaque température, quel est le temps nécessaire pour l'apparition de chaque espèce d'infusoires, en ayant soin de faire les expériences en double, les unes en vases clos, les autres à vases ouverts.

Après ces premières observations, des recherches devront être faites avec de l'eau distillée, dans laquelle on déposera, en quantité variable, les matières organiques qui peuvent exister dans les eaux ou qui peuvent y pénétrer accidentellement.

Cette eau sera portée à des températures différentes, exposée ou non à l'action de la lumière et à l'action de l'air.

On étudiera comparativement de l'eau distillée ne renfermant aucune matière étrangère, mais exposée à l'air et placée dans les mêmes conditions de lumière et de température que la précédente, et ce travail, fait avec soin, fournira probablement, à l'étiologie des maladies épidémiques, des lumières qui lui manquent encore.

Il est prématuré, sans doute, de se livrer aux conjectures que ce sujet comporte, et néanmoins je ne puis m'empêcher d'espérer qu'on découvrira par le microscope appliqué à l'examen de l'air et de l'eau, plutôt que par l'analyse des matières organiques si vague, si incertaine, quand il s'agit des eaux, la solution de la question si grave des fièvres paludéennes, des dyssenteries, de la fièvre typhoïde, du goître et du crétinisme, etc.

En admettant que l'analyse chimique puisse arriver à distinguer les quantités de matières végétales et animales contenues dans les eaux, elle n'indiquera pas si ces eaux sont immédiatement nuisibles, mais elle permettra d'induire qu'elles pourront le devenir plus ou moins, si elles sont placées dans certaines conditions spéciales comme celles de lumière et de température qui pourront favoriser la décomposition des matières organiques qu'elles renferment.

Le microscope montrera, au contraire, à un moment donné, si ces matières sont plus ou moins altérées, et je le répète, selon toute apparence c'est là ce qui importe surtout.

Ne pourrait-on pas reconnaître dans des eaux qui produiraient, à n'en pas douter, l'une quelconque des altérations de l'organisme signalées plus haut, des infusoires ou des végétations qui ont pu les déterminer, et en procédant par voie d'élimination, n'y aurait-il pas possibilité d'arriver à découvrir l'espèce ou les espèces de ces infiniment petits de l'organisation qui donneraient naissance à une affection déterminée, et cette question résolue pour des eaux bourbeuses, corrompues, notoirement malsaines, ne pourrait-on pas apprécier les qualités des eaux, au point de vue des matières organiques par la recherche dans les eaux potables des espèces qui se rattacheraient aux affections mentionnées plus haut?

On pourra ajouter à ces conjectures que j'émets avec une extrême réserve, qu'indépendamment des infusoires ou des végétations provenant de la décomposition des matières animales et végétales, il y a dans les eaux, comme résultat de la même transformation, de la matière diffuse qui peut, elle aussi, jouer un rôle dans les modifications pathologiques de l'organisme. Sur ce point, comme sur le précédent, on ne peut ni affirmer, ni infirmer dans l'état actuel de la science; mais comme ce problème est de la plus grande importance pour l'hygiène publique, il est désirable de le voir aborder au plus tôt par l'observation et par l'expérience.

Si je ne touche pas ici à la grave et délicate question des causes immédiates des altérations des matières organiques, c'est qu'elle ne se rattache pas directement à mon sujet. Il me sera permis de dire cependant qu'un membre éminent de l'Académie des sciences, M. Pasteur[1], dont les recherches sur les générations spontanées ont jeté une lumière toute nouvelle

1. *Comptes rendus de l'Académie*, t. LVI, p. 734 (20 avril 1863).

sur les causes de transformation des matières organiques, a montré dans une série d'expériences remarquables entreprises sur de la levûre sucrée, de l'urine, du lait, du sang et de la sciure de bois, qu'en employant autant que possible des matières exemptes ou privées de germes, et les exposant à l'action d'un air privé de germes par une température rouge, l'altération des matières organiques se faisait relativement avec une grande lenteur, et il en a conclu que les germes des organismes inférieurs existant dans les matières organiques ou leur étant transmis par l'air étaient les agents essentiels de combustion des matières organiques que la vie a abandonnées.

§ 3. Observations et essais de physiologie pathologique.

On admet en général que les matières organiques putréfiées ont une action délétère sur l'économie. Lorsque ces matières sont en décomposition dans le voisinage de nos habitations, ou dans les eaux de rivières ou de puits qui servent à notre alimentation, leur action peut s'exercer par l'air, par l'eau, ou par l'air et par l'eau à la fois.

Quoique ce double mode d'intoxication n'ait pas été clairement démêlé, il n'en est pas moins solidement établi.

Il résulte des recherches que M. le docteur Bach a faites sur le goître et le crétinisme, et qu'il a consignées dans un mémoire couronné par l'Académie de médecine et non encore publié, que ces affections sont le résultat, à degrés divers, d'une véritable intoxication, que l'auteur nomme *hydro-alluvienne* et qui ne peut provenir que des matières organiques décomposées dont les produits pénètrent dans l'économie par l'air et par l'eau.

M. le docteur Willemin, dans un mémoire fort intéressant sur le bouton d'Alep, a établi avec une grande probabilité que cette affection ne devait être attribuée ni à l'air, ni aux conditions climatériques, mais à l'usage de certaines eaux, et particulièrement pour les environs d'Alep, de celle d'une rivière, le

Coïk. Les villages qui ne font pas usage de cette eau sont épargnés[1].

M. Bussy, qui a analysé l'eau du Coïk, y a trouvé les principes minéraux contenus ordinairement dans les eaux potables, mais en proportion assez faible; par contre, il y a trouvé un dépôt abondant de matières organiques, que l'aspect de l'eau toujours bourbeuse du Coïk faisait présumer. On remarquera, d'ailleurs, comme fait concomitant digne d'attention, qu'à Alep, comme dans toutes les villes des bords du Tigre et de l'Euphrate, la fièvre intermittente est endémique.

M. le docteur Poggioli a observé à Biskra (Algérie) une dermatose ulcéreuse[2], présentant une grande analogie avec le bouton d'Alep; il a cru pouvoir l'attribuer à l'usage de l'eau d'une rivière qui entraîne, en traversant une forêt de palmiers, des détritus végétaux et animaux, lesquels, sous l'influence d'une chaleur excessive, ne tardent pas à se décomposer.

M. le docteur Boudin rapporte dans son *Traité des fièvres intermittentes*[3] un fait qui montre avec évidence que l'usage d'une eau marécageuse, pendant quelques jours à peine, peut donner lieu aux accidents les plus graves, suivis de mort dans un certain nombre de cas.

Ce fait est si probant, que je ne puis me dispenser de le citer textuellement.

« Au mois de juillet 1834, le navire sarde *l'Argo*, parti de « Bône avec 120 militaires en santé, arrive au lazaret de Mar- « seille; 13 hommes sont morts dans cette courte traversée et « ont été jetés à la mer; 98 sont déposés à l'hôpital du lazaret « offrant les signes les moins équivoques de l'intoxication pa- « ludéenne sous toutes les formes, sous tous les types, et por- « tés chez quelques-uns au plus haut degré de gravité, ou si « mieux on aime, de perniciosité.

1. *Mémoire sur le bouton d'Alep*, Paris, Thunot, 1854, p. 35.
2. *Ibid.*, p. 36.
3. P. 66.

« Tandis que ces militaires se montrent atteints de fièvres « cholérique, épileptique, comateuse, tétanique et autres, qui « cèdent comme par enchantement au sulfate de quinine à « haute dose, l'équipage du navire contraste d'une manière « frappante par une santé intacte. Or, quelle pouvait être la « cause d'une telle différence chez des individus qui avaient, en « apparence au moins, subi des influences identiques?

« C'est là une question sur laquelle une enquête officielle, « dont je reçus la direction, me procura les renseignements « les plus complets.

« L'enquête démontra que si les hommes de l'équipage « avaient conservé la santé, ils le devaient à la pureté de l'eau « qui constituait leurs provisions particulières, tandis que les « militaires avaient été contraints de boire une eau puisée, « près de Bône, dans un lieu marécageux, et embarquée avec « précipitation au moment du départ.

« Les militaires qui avaient échappé à cet empoisonnement « étaient ceux qui, ayant quelques économies, avaient pu ache- « ter de l'eau aux marins sardes. Ce fait démontre d'une ma- « nière péremptoire que la matière paludéenne à l'état liquide « comme à l'état gazeux, absorbée par la surface gastro-intes- « tinale comme par la surface bronchique, provoque égale- « ment l'intoxication. »

Je trouve dans les *Annales de la Société des sciences naturelles du grand-duché de Luxembourg* [1] une étude de M. Fischer sur les causes d'insalubrité de certaines eaux de Luxembourg, à laquelle j'emprunte un fait qui vient à l'appui des précédents. Luxembourg possède une caserne, le *Rahm*, située sur la rive droite de l'Alzette, à une hauteur de 35 mètres au-dessus du niveau de cette rivière, vis-à-vis du plateau de la ville haute.

La caserne est bien aérée, les logements et l'alimentation

1. 1862, t. V, p. 43.

y sont aussi sains que dans les autres casernes de la ville, dont quelques-unes sont moins bien situées.

On a observé cependant depuis de longues années que les habitants de cette caserne sont plus sujets aux maladies putrides que les autres habitants de la ville, et ces maladies y apparaissent souvent alors que les autres casernes y sont épargnées. En novembre 1860, 200 soldats sur 1,400 étaient atteints du typhus. L'eau dont on se sert sur le Rahm provient d'un puits creusé dans le roc et descendant jusqu'au niveau de l'Alzette. Ce puits est éloigné de 40 ou 50 mètres de la rivière. L'alluvion, sur une profondeur de 6 à 7 mètres, se compose de pierres roulées, de vase, c'est-à-dire d'un boue noirâtre et fétide, provenant de matières organiques en putréfaction. Ce puits, comme les autres puits de Luxembourg, reçoit des eaux de sources qui sont pures; mais après chaque forte crue de l'Alzette, l'eau du puits du Rahm devient malsaine, comme celle des autres puits situés sur la rive droite de l'Alzette; car alors la rivière grossie refoule l'eau stagnante et marécageuse de son ancien lit, sur une largeur de 40 à 50 mètres, vers ces puits, et cette eau stagnante, en se mêlant avec l'eau de ces sources, lui communique les qualités délétères qui causent les maladies dont il vient d'être parlé.

Je dois ajouter que des recherches dans la même voie ont été faites par le docteur Gigot de Levroux, et consignées dans son *Mémoire sur la nature des émanations marécageuses et sur les moyens d'empêcher leur formation et leur expansion dans l'air*[1].

On admet d'ailleurs sans contestation que les dyssenteries des pays chauds sont dues à des eaux chargées de matières organiques en décomposition.

C'est à des causes analogues que l'on attribue les fièvres paludéennes de nos pays et celles produites par la *malaria* dans les Marais Pontins.

---

1. Paris, Labé, 1859, 1 broch. in-8°.

Il me semble donc établi par les faits qui précèdent qu'il peut se produire, par les eaux et par l'air, une intoxication à symptômes variables susceptibles de déterminer subitement ou après un temps plus ou moins long le goître, les fièvres paludéennes, des affections gastro-intestinales de formes diverses, des éruptions cutanées, et comme ces mêmes eaux ou l'air ne renferment pas de matières inorganiques qui produisent ces affections, on ne voit pas qu'on puisse les attribuer à autre chose qu'aux matières organiques altérées qui peuvent y exister.

Ici se présente naturellement un sujet d'études d'une grande importance par ses résultats, et qui consiste, au lieu de se borner à des observations isolées et accidentelles de l'action sur l'économie des eaux altérées, à instituer des expériences destinées à constater l'influence de ces mêmes eaux sur les animaux.

J'ai dit, dans le paragraphe précédent, quelle étude micrographique des eaux on devait faire.

Lorsqu'en reprenant ces essais pour les eaux naturelles ou pour les eaux qui auraient reçu l'une quelconque des matières organiques qui peuvent y exister normalement ou accidentellement, on arrivera au moment qui répond à un nombre relativement grand de certaines espèces d'infusoires, on devra faire prendre ces eaux ou ces infusions à diverses espèces animales, dont on étudiera les modifications pathologiques, s'il s'en produit.

L'autopsie devra dans chaque cas venir en aide à l'observation des symptômes et montrer s'il existe une relation constante entre certaines espèces d'infusoires et les affections qui se produisent.

On comprend dès lors, si, comme il est probable, ces recherches conduisent à quelques lois bien établies, qu'elles fassent connaître la cause de certaines épidémies et par suite les moyens de les éviter.

Quand ce qui touche l'air sera connu par une méthode cer-

taine, analogue à celle que je propose pour l'eau, il est à supposer que l'étiologie de la plupart des épidémies laissera peu à désirer, et qu'on pourra leur opposer une prophylaxie à la fois sûre et éclairée[1].

Je termine ce chapitre par les propositions suivantes, qui en sont le résumé :

1° L'observation a montré que les matières organiques jouent dans les eaux le rôle principal au point de vue de la salubrité. Il y a lieu de supposer qu'elles sont très-diverses et qu'elles n'ont pas le même degré de nocuité; mais dans l'ignorance où nous sommes du rôle spécial de chacune d'elles, nous devons les proscrire sans exception; les eaux qui n'en renfermeraient pas, et qui rempliraient d'ailleurs les autres conditions, dont il sera question plus loin, devraient être prises comme types des eaux potables.

2° Nous ne connaissons pas de méthode certaine pour apprécier dans les eaux la quotité de matières organiques, abstraction faite des altérations qu'elle a subies.

Une méthode devra être cherchée qui atteigne ce but.

3° On n'a pas apprécié la nature animale ou végétale des matières organiques qui existent dans les eaux, ni leur degré d'altération. On devra par les recherches chimiques, mais surtout par le microscope, tâcher d'acquérir des lumières suffisantes sur ce sujet.

4° On devra faire des essais de physiologie pathologique pour apprécier l'influence de ces diverses altérations sur l'économie.

---

1. Si ces recherches conduisaient, par impossible, pour l'eau et pour l'air, à des résultats négatifs, elles auraient encore une très-grande valeur, à mes yeux; car elles restreindraient le cercle dans lequel il faut chercher les causes des maladies épidémiques et permettraient aux hygiénistes de porter leurs efforts dans une autre direction.

CHAPITRE II

Matières inorganiques.

Les arguments que j'emploierai pour étudier l'opportunité de l'existence dans l'eau des diverses matières inorganiques qui s'y trouvent ordinairement dissoutes sont de trois genres.

Les uns s'appuient sur les données hygiéniques ou physiologiques, quand les faits me paraîtront incontestés; les autres sur l'existence ou la non-existence dans l'économie de certains principes qu'on trouve dans les eaux; les troisièmes sur la présence dans les matières alimentaires de la plupart des matières salines contenues dans les eaux.

En outre, pour donner plus de clarté à la discussion, je distinguerai, dans quelques cas, la période d'accroissement de celle où le développement est terminé.

Je classe les matières inorganiques selon l'ordre de leur importance présumée; on sait que les bases et les acides ne sont pas généralement à l'état de liberté, mais combinés de manière à former des sels, à l'exception toutefois d'une partie de l'acide carbonique et de l'acide silicique.

Bases.

1° Chaux;
2° Magnésie;
3° { Potasse,
Soude;
4° Ammoniaque;
5° { Alumine,
Oxyde de fer,
Oxyde de manganèse.

Acides.

6° Acide sulfurique;
7° Acide azotique;
8° Acide chlorhydrique;
9° Acide phosphorique;
10° Acide carbonique;
11° Acide silicique;
12° Fluor, Iode, Brôme.

BASES.

§ 1er. Chaux.

La chaux est la base qui prédomine en général dans les eaux de sources, de rivières et de puits; c'est sur elle que l'attention doit se porter tout d'abord, en raison du rôle physiologique important qu'elle joue dans notre organisation.

Jusqu'à présent, les auteurs ont prétendu, les uns, que la chaux était nécessaire dans les eaux; les autres, qu'elle y était inutile, parce que les aliments en renfermaient assez pour le développement du squelette; mais les discussions qui se sont élevées à ce sujet continuent, parce que, au lieu de s'appuyer sur des faits, on ne s'oppose que des opinions. J'ai cherché à sortir la question du vague où elle est restée, et voici la marche que j'ai suivie dans ce but.

Après avoir discuté une expérience de M. Boussingault, relative aux quantités de chaux nécessaires à l'accroissement du squelette d'un porc, je cite quelques faits qui prouvent que l'eau peut être salubre tout en renfermant des quantités de chaux qui varient dans des limites étendues; enfin, et c'est sur ce point surtout que je crois devoir appeler l'attention, après avoir distingué l'époque où le développement du tissu osseux est terminé et où la chaux ne me paraît plus nécessaire dans

l'eau, de la période d'accroissement, je cherche la quantité moyenne de chaux qui, pour former le squelette, doit pénétrer chaque jour dans le corps pendant cette période. Je compare cette quantité à la proportion de chaux qui est prise chaque jour avec les aliments par des enfants de 10 à 12 ans, soit à la ville, soit à la campagne.

Je mets en regard de ces deux poids de chaux celui qui se trouve dans l'eau de consommation de quelques villes et particulièrement de Paris.

Après les conclusions auxquelles ces chiffres me conduisent, j'expose le procédé expéditif et suffisamment précis de détermination de la chaux et de la magnésie proposé par MM. Boutron et Boudet, le tableau des degrés hydrotimétriques des eaux de beaucoup de localités et celui des poids de chaux, par litre, contenue dans un grand nombre d'eaux.

Pour affirmer la nécessité de la chaux dans les eaux potables, on a fait remarquer que le squelette renfermant du phosphate et du carbonate de chaux en proportions considérables, il était utile que l'homme trouvât, ainsi que les animaux, dans l'eau consommée une source incessante de chaux, parce que les aliments pouvaient n'en pas renfermer une suffisante proportion.

On a cité à l'appui une expérience[1] de M. Boussingault, qu'il est indispensable de discuter avec soin, parce qu'elle constitue le seul argument direct de la nécessité de la chaux dans les eaux.

L'illustre chimiste, dans les recherches qu'il entreprit sur la production de la graisse dans les animaux, eut l'occasion de recueillir des données qui lui permirent de s'occuper incidemment du développement du tissu osseux du porc. Il trouva que le squelette d'un porc nouveau-né renfermait 10 gr. de chaux,

1. *Mémoires de chimie agricole et de physiologie*. Paris, Mallet-Bachelier, 1854, 1 vol. in-8°, p. 187.

que les os d'un porc (n° 1) âgé de 8 mois et pesant 60.55 kilogr. en contenaient 701 gr., et que ceux d'un porc (n° 2) qui, pesant 60 kilogr. à l'âge de 8 mois, avait été nourri à partir de là, pendant 93 jours, avec des pommes de terre et de l'eau, donnaient un poids de chaux de 841 gr.

Voici d'ailleurs le tableau complet des résultats[1] :

Désignation des porcs.	Poids des porcs.	Squelette séché à l'air.	Poids des cendres.	Acide phosphorique.	Chaux.
	Kilogr.	Grammes.	Grammes	Grammes	Grammes
Nouveau-né	0.65	48	21	9	10
N° 1, âgé de 8 mois . . .	60.55	2,901	1,353	591	701
Assimilation en 8 mois .	59.95	2,853	1,332	582	691
Assimilation par jour . .	»	11.7	5.5	2.4	2.8
N° 2, âgé de 11 ½ mois.	67.24	3,407	1,586	711	841
Assimilation en 93 jours.	6.69	554	254	129	150
Assimilation par jour . .	»	6	2.6	1.4	1.6

Je ferai deux remarques au sujet de ce tableau; il présente 1° une hypothèse; 2° des erreurs de calcul.

L'hypothèse est que le squelette du porc (n° 2) pesant 60 kilogr. à 8 mois et 12 jours, renfermait à cet âge le même poids de chaux que celui du porc (n° 1) pesant 60.55 kilogr.; on verra tout à l'heure ce qu'il faut penser de cette supposition.

Les erreurs de calcul consistent, si je ne me trompe, en ce que pour avoir les accroissements de poids du tissu osseux, des cendres, de l'acide phosphorique et de la chaux, depuis 8 mois jusqu'à 11 mois et demi, on a retranché les poids de ces matières, assimilées pendant les 8 premiers mois, des poids qu'elles offrent dans le porc à 11 mois et demi, au lieu de retrancher les poids de la deuxième colonne horizontale de la cinquième. Cette deuxième opération donne pour le poids de chaux assimilé en 93 jours 140 gr. au lieu de 150 gr.

1. Même ouvrage, p. 191.

Le même calcul donne 233 gr. pour le poids des cendres et 120 gr. pour le poids de l'acide phosphorique.

On remarquera que le poids de cendres 233 gr. est inférieur à la somme des poids de chaux et d'acide phosphorique 140 + 120 = 260 gr.; ce qui ne peut guère s'expliquer. — Mais ne nous arrêtons pas à cette difficulté.

Le porc (n° 2) consomme pendant 93 jours un poids de 544 kilogr. de pommes de terre et 900 litres d'eau.

Les pommes de terre renferment un poids de chaux égal à . . . . . 98 gr.
L'eau consommée en contenait. . . . . 179 »
Dont le total est . . . . . 277 »

et c'est là, qu'on le remarque bien, la seule quantité de chaux introduite dans l'estomac du porc (n° 2) pendant 93 jours.

Mais le porc s'est assimilé, pendant le même temps, un poids de chaux égal à. . . . . 140 gr.
Les déjections en contenaient . . . . . 216 »
Dont le total est de . . . . . 356 »

et par conséquent on s'assure ainsi que la quantité totale de chaux assimilée ou rejetée dépasse de 79 gr. la quantité de chaux introduite dans l'économie; résultat inadmissible qui montre ou bien 1° que l'hypothèse dont il a été question plus haut est inexacte ou 2° qu'il y a eu quelque erreur grave et inaperçue dans l'expérimentation[1].

La seule expérience sur laquelle repose l'opinion de la nécessité de la chaux dans les eaux potables, pèche donc par la base et ne peut servir d'argument.

On peut lui adresser un autre reproche.

Elle a été entreprise dans des conditions qu'on peut appeler *exceptionnelles*. Le porc (n° 2), au lieu de recevoir la nourri-

1. Tous les nombres cités sont empruntés à l'ouvrage de M. Boussingault, à l'exception du nombre 140 gr. qui remplace le nombre 150 gr., et du nombre 356 gr. qui remplace le nombre inexact 268 gr. destiné à représenter la quantité de chaux assimilée et excrétée.

ture qu'on lui donnait pendant les 8 premiers mois, a été soumis au régime des pommes de terre et de l'eau; or, il y a là une anomalie qui n'a point échappé au chimiste éminent à qui nous devons ces essais; il constate le peu d'efficacité de la pomme de terre dans l'engraissement du porc, quand on la donne seule, et il reconnaît que M. Schwertz, en Allemagne, et M. Roberts, en Angleterre, avaient déjà fait une observation analogue. N'est-il pas possible que ce changement de régime ait influé non-seulement sur le développement de la graisse, mais aussi sur celui du tissu osseux? C'est ce que laisserait supposer l'expérience suivante entreprise, à ma prière, par un agronome distingué, M. Clog-Mertian, qui dirige avec autant d'intelligence que de dévouement l'asile des orphelins du Willerhof (Bas-Rhin).

M. Clog-Mertian fit mettre 4 porcs de 8 à 10 mois au régime des pommes de terre et de l'eau; il fallut au début, pour chacun d'eux, de 15 à 20 litres de pommes de terre distribuées en trois repas. Mais les porcs parurent se fatiguer de cette nourriture, mangèrent de moins en moins, ne prirent pas de corps et au bout de 15 jours ce régime dut être abandonné.

J'ajouterai que lorsqu'il s'agit d'une question aussi grave que celle de la nécessité de la chaux dans les eaux, une expérience unique est complétement insuffisante.

De plus, en admettant même comme exacte la conclusion qu'on a tirée de l'expérience précédente, en supposant qu'elle pût être généralisée et appliquée à l'homme dans sa période de croissance, il faudrait se hâter, ce qu'on a oublié de faire jusqu'à présent, d'ajouter, qu'à l'époque du développement complet, le squelette n'a plus besoin, selon toutes probabilités, que de quantités de chaux bien inférieures à celles qui entrent dans les aliments, et par conséquent, qu'à partir de ce moment, pour l'homme comme pour les autres animaux vertébrés, il est préférable que l'eau n'en renferme plus.

Je vais examiner, en second lieu, les résultats que l'observation a fournis au sujet de la consommation de l'eau, plus ou moins chargée de sels de chaux.

De Saussure, cet observateur si consciencieux et si exact, faisait remarquer, au siècle dernier[1], «que dans les hautes «vallées des Alpes, les paysans étaient parfaitement sains, vifs «et dégagés, alors qu'ils ne buvaient d'autre eau que de l'eau «de glace et de neige fondues, et que *même dans quelques «endroits on est attaché à ces eaux par une espèce de préjugé.*»

Dans les montagnes des Vosges où le granit domine, les sources présentent des degrés hydrotimétriques compris entre 2° et 15° et dépassent rarement ce dernier nombre; or, personne n'ignore que nos montagnards sont en général vigoureux et bien portants.

Les eaux de la Loire sont considérées comme des eaux potables de très-bonne qualité[2], et cependant elles ne marquent pas plus de 5°,5[3]. — On peut faire une observation analogue pour la Dordogne et l'Allier.

Dans plusieurs grandes villes de France, comme Paris, Strasbourg, Dijon, etc., les eaux potables donnent de 16° à 30° hydrotimétriques, et jusqu'à présent les conseils d'hygiène n'ont pas prétendu que la chaux dût y être considérée comme en excès.

Il y a plus; à Lyon, d'après le tableau des eaux de diverses provenances, dressé par M. Seeligmann, chimiste du service municipal, les eaux marquent de 0°,75 à 135[4].

Or, selon les observations de M. Seeligmann, la population se sert encore de préférence d'eaux de puits marquant rare-

1. De Saussure, *Voyage dans les Alpes*. Genève, Barde-Manget, 1786, in-4°, t. II, p. 482 et 483.

2. Pelouze et Fremy, *Traité de chimie générale*; 2e édit. Paris, V. Masson, t. I, p. 201.

3. *Hydrotimétrie*, par MM. Boutron et Boudet. Paris, V. Masson, 1856, p. 34.

4. *Essai chimique sur les eaux potables*; 1er mémoire. Lyon, Savy, 1860, p. 40.

ment au-dessous de 40°, alors que celles de la compagnie des eaux ne marquent que de 16° à 17°.

Il a même pu constater que des eaux marquant 100°, 110°, 120° étaient les eaux auxquelles les habitants de certains quartiers donnaient la préférence.

Il n'y a donc pas danger immédiat, imminent à faire usage de ces eaux; mais il y a des raisons sérieuses de penser qu'il pourrait, dans ce dernier cas, se développer à la longue, entre autres affections, des maladies graves des voies urinaires, et les conseils d'hygiène ont appelé plusieurs fois l'attention sur l'insalubrité de ces eaux[1].

D'après ce qui précède, je ne dissimulerai point le doute qui s'est élevé dans mon esprit, à la lecture du passage suivant d'un rapport adressé au maire d'Angers par MM. les ingénieurs Houzeau et Blavier, à la suite d'un voyage en Angleterre entrepris pour l'étude des distributions d'eaux[2].

« Plusieurs médecins distingués ont reconnu et énoncé ce « fait que nous livrons à l'appréciation des hommes compé- « tents. Des eaux chargées de carbonate de chaux produisent « facilement une obstruction des viscères en diminuant les sé-

1. Je dois ajouter que M. Peligot, dans le travail déjà cité (*Annales de chimie et de physique*, octobre 1864, p. 225), s'occupant des eaux de la distribution du Hâvre, qui proviennent des sources de la rivière de Gournay et de Saint-Laurent, les a trouvées abondantes, fraîches, limpides, et d'un goût excellent; l'analyse lui a montré que cette eau paraissait exempte de tout principe organique; elle contient, il est vrai, des principes inorganiques en proportion considérable, car elle marque à l'hydrotimètre de 35° à 40° et donne 0.560 gr. de résidu.

Cette eau excellente pour la boisson, dit M. Peligot, est très-supérieure à aucune de celles qu'on consomme à Paris parce qu'elle est exempte de produits organiques. L'éminent chimiste ne se prononce pas, il est vrai, sur la question dont je m'occupe ici: à savoir quelle est celle, de deux eaux qui, toutes choses égales d'ailleurs pour les matières organiques, renfermant des quantités différentes de chaux, devrait être préférée. — Mais il résulte, toutefois, cette conséquence importante de son étude, qu'une eau marquant de 35° à 40° peut être une excellente eau potable.

2. *Rapport au maire de la ville d'Angers*. Angers, 1852, br., in-4°, p. 41.

« crétions naturelles; d'où résulte un état de constipation nor-
« mal, évidemment nuisible à la santé. La Société médicale de
« Glascow, parfaitement à même d'étudier les effets comparés
« des eaux douces et des eaux crues, puisque la partie nord de
« la ville est alimentée par l'eau crue de la Clyde filtrée (15° de
« Hardness[1]), tandis que la région sud est alimentée par les
« eaux douces venues des montagnes (4° de Hardness), dé-
« clare à l'unanimité avoir reconnu la salutaire influence sur la
« santé publique de l'introduction de ces eaux douces dans les
« usages domestiques. Les calculs de la vessie autrefois très-
« fréquents ont diminué progressivement pour disparaître
« complétement, et pendant le choléra de 1849 la mortalité a
« été beaucoup moindre dans la région sud de la ville que dans
« la région nord.

« Les mêmes faits ont été constatés à Paisley, Bolton et
« autres villes alimentées par des eaux douces, par les méde-
« cins les plus recommandables de ces contrées. »

J'avoue que, d'après les observations rapportées antérieurement, on a lieu de s'étonner que le passage d'une eau de 21° hydrométriques à une eau de 5°,4 ait donné lieu à des changements aussi marqués.

Je pense que différentes causes autres que la chaux ont pu y contribuer; je ne voudrais pas, toutefois, nier absolument l'influence de sa diminution; mais ce qui me paraît résulter de ce rapport, c'est qu'il y a eu avantage, dans le cas cité, à substituer des eaux de source aux eaux de la Clyde filtrées.

Il me reste à entrer maintenant dans le vif de la question.

Faut-il ou non que les eaux potables renferment de la chaux?

Pour résoudre la question, je distinguerai deux périodes: la première, qui répond à l'accroissement, et la seconde, où le développement de l'homme est terminé.

Les conclusions de la seconde période pouvant se formuler

1. 1° de Hardness équivaut à 1°,4 de l'hydrotimètre de MM. Boutron et Boudet.

d'une manière simple et générale, c'est par elle que je commencerai.

Seconde période. — Il a été démontré pour plusieurs espèces animales et par divers expérimentateurs[1], qu'à partir de l'âge adulte, le tissu osseux ne se renouvelle plus ou ne se renouvelle qu'avec une extrême lenteur.

Si l'on admet qu'il soit permis d'induire des animaux à l'homme, il faudra, puisqu'à partir de l'âge de 25 ans on ne change pas d'alimentation, que les sels de chaux introduits dans l'économie en soient à peu près complétement éliminés.

Les urines et les excréments de l'homme contiennent, en effet, des quantités notables de chaux, comme le montrent leurs analyses.

M. Porter[2] a fait l'analyse des cendres des excréments et des urines de l'homme. En défalquant le charbon et le sable, les cendres des fèces recueillies pendant 4 jours pesaient 11.47 gr. et représentaient 6.69 p. 100 du poids des excréments séchés; celles des urines pesaient 57.50 gr. Leur composition, pour 100 parties, est donnée par le tableau suivant :

	Excréments solides.	Urine.
Potasse	6.10	13.64
Soude	5.07	1.33
Chaux	26.46	1.15
Magnésie	10.54	1.34
Oxyde de fer	2.50	Traces.
Acide phosphorique	36.03	11.21
— sulfurique	3.13	4.06
— carbonique	5.07	»
Chlorure de sodium	4.33	67.26

S'appuyant sur les nombreuses déterminations de cendres qui ont été faites au laboratoire de Giessen, M. Porter a évalué approximativement et sans faire de recherches directes les proportions des matières inorganiques contenues dans les

1. MM. Flourens, Serres et Doyère, Brullé et Hugueny.
2. Wöhler und Liebig, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. LXXI, p. 109.

aliments pris pendant 4 jours, et laissant de côté le chlorure de sodium, il a obtenu pour 100 parties les nombres suivants qu'il met en regard des résultats fournis par 100 parties de cendres des urines et des fèces, ces cendres étant supposées réunies dans les proportions qui répondent à leurs poids respectifs. Il admet, d'ailleurs, que pour le même temps le poids des matières inorganiques des aliments solides et liquides doit être sensiblement le même que celui des excréments.

	Cendres	
	des aliments.	des excréments.
Potasse	39.75	28.69
Soude	3.69	4.53
Chaux	2.41	12.48
Magnésie	7.42	6.69
Oxyde de fer	0.79	0.97
Acide phosphorique	42.52	35.62
— sulfurique	1.86	9.05
— carbonique	1.12	1.97
Silice	0.44	»
	100.00	100.00

Ces deux tableaux sont intéressants à divers égards; mais au point de vue qui m'occupe, je ferai remarquer que le premier montre que, pour le cas particulier étudié par M. Porter, la quantité de chaux qui s'échappe par les excréments est à peu près égale à 5 fois celle qui s'échappe par les urines; que le second montre que la quantité de chaux excrétée est notablement plus grande que celle qui est contenue dans les aliments; d'où cette conséquence que cet excès doit provenir des boissons qui ont accompagné les matières solides dans l'alimentation.

Il est à regretter sans doute que l'analyse directe des matières alimentaires consommées n'ait pas été faite, ce qui donnerait plus de poids à la conclusion précédente.

Des analyses analogues à celles de M. Porter, entreprises avec toute la rigueur désirable, pour des personnes d'âge et de sexe désignés et de différents régimes, auraient certainement leur utilité pour la science, et il est à désirer de les voir reprendre.

Comme il résulte de ces tableaux que les cinq sixièmes de la chaux introduite dans l'estomac s'échappent avec les excréments, le rein ne doit pas se fatiguer autant qu'on serait disposé à le supposer tout d'abord, par la chaux qu'il doit éliminer avec les urines.

Je ne crois pas, toutefois, émettre une hérésie, en disant qu'il est tout au moins inutile, s'il n'est nuisible, d'introduire dans l'économie, à l'époque où le développement est terminé, des eaux potables qui seraient susceptibles d'accroître d'une manière notable la quantité de chaux qui doit être excrétée par le canal intestinal ou par le rein, et j'arrive à cette conclusion qu'à l'époque du développement complet[1], il est préférable que les eaux n'en contiennent point.

Première période ou période d'accroissement. — Cette période diffère de la précédente en ce que, pendant le temps qui lui répond, une partie de la chaux des aliments et de l'eau consommée reste dans l'économie, en contribuant au développement du tissu osseux; nous avons à rechercher, dans ce cas, si la chaux des aliments est suffisante ou s'il est nécessaire que l'eau fournisse le complément. Il faudrait sans doute, pour résoudre la question minutieusement, avoir le tableau des poids successifs du squelette de l'enfant et de l'adolescent, année par année, depuis la naissance jusqu'à 25 ans, et les poids de chaux correspondants, puis connaître exactement le régime alimentaire annuel pendant cette même période de temps.

Ces deux données font, si je ne m'abuse, défaut dans la science; mais voici comment j'ai tourné la difficulté. J'ai cherché le poids de chaux contenu dans le squelette d'un adulte, c'est-à-dire à l'époque où l'accroissement est terminé; j'en ai déduit le poids moyen de chaux qui doit s'ajouter, par jour, au tissu osseux pendant la période d'accroissement; puis j'ai dressé le tableau des quantités de chaux contenues dans 1 kilo-

1. Sauf les cas de grossesse et de fractures des os.

gramme ou dans 1 litre des principaux aliments solides ou liquides.

Je me suis procuré plusieurs tableaux du régime alimentaire de diverses catégories d'enfants, soit à la ville, soit à la campagne, dont l'âge moyen était de 10 à 12 ans, et répondait sensiblement au milieu de la période d'accroissement.

Ces tableaux m'ont permis de calculer le poids moyen de chaux introduit par jour dans le corps d'un enfant de chacune de ces catégories, et ces poids ont été comparés au poids de chaux qui répond à l'accroissement du tissu osseux.

Dans cette comparaison se trouve, si je ne m'abuse, la solution claire et rationnelle de la question si longtemps controversée de la nécessité de la chaux dans les eaux.

Après avoir exposé la marche que je compte suivre, j'arrive à l'application.

J'ai pesé un squelette d'adulte, qui a donné un poids de 5.400 kilogr.; je prends en nombres ronds 6 kilogr., poids qui rentre dans les limites fixées par MM. G. et E. Weber[1], dans leur *Traité d'ostéologie et de syndesmologie*, tout en se rapprochant de la limite supérieure donnée par les deux savants anatomistes allemands.

Les os renferment, d'après l'analyse de Marchand[2], tout calcul fait, environ 33.6 p. 100 de chaux, ce qui donne pour le squelette un poids de chaux égal à 2,016 gr. Ajoutant 100 gr. pour le poids de chaux contenu dans les autres parties du corps, on peut adopter 2,116 gr. comme le poids moyen de chaux contenue dans l'homme complétement développé; et si l'on néglige le poids de chaux que renferme l'enfant qui vient de naître, nous aurons pour la quantité normale moyenne de chaux qui doit s'ajouter chaque jour au tissu osseux :

$$\frac{2116\,gr.}{365 \times 25} = 0.232 \text{ gr.}$$

1. *Encyclopédie anatomique*, *Traité d'ostéologie*, etc., p. 6.
2. Pelouze et Fremy, *Traité de chimie*, 2e édit., t. VI, p. 262.

Voici le tableau relatif à la chaux dans les aliments :

Tableau des poids d'eau et de cendres pour 100, de chaux pour 1,000 d'aliment normal.

Aliments.	Eau pour 100 d'aliment normal.	Cendres pour 100 d'aliment normal.	Noms des chimistes.	Chaux pour 1,000 gr. d'aliment normal.	Noms des chimistes.	Ouvrages qui renferment les nombres cités.[1]
		Gr.		Gr.		
Lait de femme.	»	0.441	Schwentz.	1.094	Schwentz.	Pelouze et Fremy, *op. cit.*, 2e édit., t. VI, p. 202.
Lait de vache .	»	0.3697	Pfaff et Schwartz	0,790	Pfaff et Schwartz.	*Idem.*
Vin	»	0.187	Boussingault.	0.092	Houzeau.	Boussingault, *Mémoires de chimie agricole*, p. 316.
Bière.	»	0.307	Mitscherlich.	0.0364	Mitscherlich.	Violette et Archambault, *Dictionnaire des analyses chimiques*, t. I, p. 458.
Pain	36	1.194	Boussingault.	0.358[2]	Boussingault.	Pelouze et Fremy, *op. cit.*, t. VI, p. 503.
Viande . . . . . (Chair musculaire du bœuf.)	75	1.92	de Bibra.	0.840	de Bibra.	*Idem*, p. 255. J'ai pris 10 de phosphate de chaux pour 100 de cendres.
Pommes de terre	70	1	Boussingault.	0.180	Boussingault.	*Mémoires de chimie agricole*, p. 191.
Froment	14	1.6	*Idem.*	0.48	*Idem.*	Pelouze et Fremy, *op. cit.*, t. VI, p. 502-503.
Farine de froment.	14.22	1.6	Payen.	0.48	*Idem.*	*Idem*, p. 513.
Seigle	16.60	1.9	Boussingault.	0.5548	*Idem.*	*Idem*, p. 510.
Orge	11	3	Sacc.	0.669	Kœchlin.	*Idem*, p. 508.
Riz	14.60	0.5	Boussingault.	0.504	Berthier.	*Idem*, p. 509.
Maïs	17	1.1	*Idem.*	0.143	Letellier.	*Idem*, p. 507.
Fèves.	16	3.60	Payen.	2.628	Bichon.	*Idem*, p. 531-532.
Haricots blancs.	9.90	3.20	*Idem.*	1.856	*Idem.*	*Idem.*
Pois cassés. . .	9.70	2.50	Boussingault.	2.525	Boussingault.	*Idem.*
Lentilles. . . .	11.50	2.30	Payen.	1.166	Lewy.	*Idem.*
Chou	79	1.595	Sprengel.	7.280[3]	Sprengel.	Violette et Archambault, *Dictionnaire des analyses chimiques*, t. I, p. 294, ou *Ann. agr.* de Roville, t. VIII, p. 269.
Chou blanc . .	88	0.618	Hugueny	0.706	Hugueny	
Navet.	»	»	»	0.620	Boussingault.	Boussingault, *Économie rurale*, t. II, p. 460.
Betterave. . . .	»	»	»	0.540	*Idem.*	*Idem.*
Topinambours.	»	»	»	0.290	*Idem.*	*Idem.*
Cacao.	»	4	Boussingault et Payen.	4.40	Letellier.	Pelouze et Fremy, *op. cit.*, t. VI, p. 529.
Cerises.	74.85	»	»	1	Bérard.	*Ann. de chimie et de physique*, t. XVI, p. 240.
Poires	83.88	»	»	0.40	*Idem.*	*Idem*, p. 243.
Groseilles . . .	81.10	»	»	2.90	*Idem.*	*Idem*, p. 239.
Pêches[4].	80.24	»	»	0.60	*Idem.*	*Idem*, p. 241.

1. Ou les nombres d'après lesquels j'ai calculé les poids de chaux contenus dans 1,000 gr. d'aliment normal.
2. Ce nombre est déduit de l'analyse de la farine de froment et des proportions de farine et d'eau que renferme le pain. (Payen, *Des substances alimentaires*, 3e édit., p. 305.)
3. Ce nombre me paraissant fort élevé, j'ai cru devoir faire une nouvelle analyse du chou.
4. Il est à désirer qu'on complète ce tableau, pour les divers fromages, le beurre, les carottes, les épinards, les diverses espèces de salades et les fruits non mentionnés.

Il reste quelques lacunes et quelques déterminations incertaines dans le tableau précédent; je ne doute pas, qu'en raison de son importance, on ne comble les unes et on ne donne plus de précision aux autres.

Je crois toutefois que, tel qu'il est, il fournira des résultats qui s'éloigneront très-peu de la réalité.

Je dois ajouter que parfois le même aliment, soit que la variété ne fût pas la même, soit que le sol ou les conditions météorologiques fussent différents, donne pour la chaux des nombres qui s'écartent notablement les uns des autres; dans ces circonstances j'ai conservé le nombre le plus faible en général. Je ne me suis point servi, sauf un cas, des tableaux donnés par Berthier dans son *Traité des Essais par la voie sèche*, parce que, les nombres que j'en tirais me semblant élevés, j'ai voulu éviter de paraître partial dans une question où mon seul désir est d'être vrai.

J'ai emprunté beaucoup à M. Boussingault et à M. Payen, à qui la chimie et l'agronomie doivent un si grand nombre de travaux importants.

Je vais donner maintenant une suite de tableaux du régime alimentaire d'enfants de 10 à 14 ans, élevés à la ville ou à la campagne[1].

1° On admet généralement qu'un enfant, depuis la naissance jusqu'à l'âge de 1 an, consomme à la mamelle par jour de 1 demi-litre à 1 litre de lait, ou au biberon 1 litre de lait de vache.

2° Un petit campagnard, dans les Vosges, mange par jour, à l'âge de 10 ans :

---

1. Je dois ces divers renseignements à M. Martinet, économe du Lycée impérial, à M. Clog-Mertian, pour l'asile du Willerhof, à M. Schæffer, directeur de l'hospice des orphelins, à M. Guimas, directeur de la colonie d'Ostwald, et à M. Kraft, directeur de l'établissement charitable du Neuhof; mon frère m'a transmis les deux premiers.

Pain de seigle	250 gr.
Pommes de terre	1,000
Lait	300
ou Fromage	100
Légumes frais, (choux, navets, etc.)	100
Viande	10

3° *Lycée de Strasbourg.*

Moyennes de la consommation par élève et par jour.

Aliments.	De 8 à 12 ans.	De 12 à 16 ans.	De 16 à 20 ans.
Pain	0.585 kil.	0.645 kil.	0.705 kil.
Viande	0.179	0.1898	0.1988
Vin	0.1787 lit.	0.2197 lit.	0.2607 lit.
Lait	0.032	0.038	0.044
Beurre	0.0163 kil.	0.0163 kil.	0.0163 kil.
Pommes de terre	0.2137	0.3037	0.3937
Légumes secs	0.0477	0.0577	0.0677
Légumes frais	0.1055	0.1155	0.1255

4° *Hospice des orphelins de Strasbourg.* 71 garçons, 89 filles: 160 enfants de 7 à 14 ans (moyenne 10 ans et demi).

Pain.	bis	400 gr.
	blanc	160 gr. pour la soupe.
Viande.	Bœuf	150 gr. 3 fois par semaine.
	Fressures	150 gr. une fois par semaine.
	Saucisses	100 gr. une fois par semaine.

Pommes de terre . . . . . 480 gr. par jour.

Beurre . . . . . 20 gr. par jour.

Légumes secs. { Pois, Lentilles, Haricots } 2 fois en hiver par semaine, 1 fois en été, 30 litres[1] chaque fois à répartir entre 177 personnes[2].

Choucroute ou choux, 45 kilogr., le dimanche pendant toute l'année.

Navets et carottes, de 2 à 3 paniers[3], 1 fois par semaine pendant 3 mois.

Riz, gruau, orge mondé, 20 kilogr., 1 fois par semaine pendant l'année.

Vin blanc . . . . . 12.50 centil., 2 fois par semaine.

Lait . . . . . 8 litres le samedi, pour la soupe.

---

1. Le litre pèse moyennement 850 gr.
2. Il y a 17 personnes de service, indépendamment des 160 enfants.
3. Le panier est de 25 litres et pèse moyennement 15 kilogr.

Résumé de l'alimentation par jour et par enfant.

Pain	560 gr.
Viande	100
Pommes de terre	480
Légumes secs	30
Légumes frais	40
Riz, orge, gruau	20
Vin blanc	3.6 centil.
Lait	6.4
Beurre	20 gr.

5° *Asile des orphelins du Willerhof* (Bas-Rhin). 137 garçons de 8 à 18 ans.

Consommation par orphelin et par jour.

Première catégorie de 8 à 14 ans. (Moyenne 11 ans.)

Déjeuner à 6 heures du matin. Soupe. 1 litre.

Dîner	Soupe	1 litre.
	Pain	150 gr.
	Légumes.	
	Viande	100 gr., 4 fois par semaine.
Goûter	Pain, 150 gr. et fruits (pendant 6 mois d'été).	
Souper	Soupe	1 litre.
	Pommes de terre	550 gr.
	Fromage blanc ou lait caillé	100 gr.
	En été de la salade au lieu de fromage blanc ou de lait.	

Deuxième catégorie de 14 à 18 ans. (Travailleurs.)

Déjeuner	Soupe	1 litre.
	Pain	200 gr.
	Fromage blanc.	
Dîner	Soupe	1 litre.
	Pain	250 gr.
	Viande	100 gr., viande de bœuf ou de porc (4 fois).
	Légumes.	
	Vin	20 centil.
Goûter	Pain	200 gr.
	Fromage blanc ou fruits (pendant 6 mois d'été).	
Souper	Soupe	1 litre.
	Pommes de terre	650 gr.
	Fromage blanc ou lait caillé	100 gr.

Renseignements accessoires.

15 kilogr. de pain pour 100 litres de soupe.

Dimanche. . . .	40 litres choucroute avec pommes de terre.
Lundi	40 litres navets et pommes de terre.
Mardi	40 livres légumes secs.
Mercredi	40 litres choux.
Jeudi	40 litres choucroute et pommes de terre.
Vendredi	15 livres riz et 25 livres pois.
Samedi	Farinages. 40 livres farine.

Résumé de l'alimentation par jour.

Première catégorie. (Moyenne 11 ans.)

Pain.	700 gr.
Pommes de terre.	550
Viande.	60
Fromage blanc ou lait caillé. . .	100
Légumes secs.	55
Légumes frais.	65
Farinages	30

6° *Colonie d'Ostwald.* De 190 à 200 jeunes gens de 8 à 20 ans (moyenne 14 ans).

Le matin à 8 heures . . .	1 litre soupe. Pain.
A midi.	1 litre soupe grasse. Viande, 100 gr. (5 fois par semaine). Pain. Légumes de la soupe. Vin, 1 décil.
Le soir à 7 heures	Pain. Légumes (haricots, pois, pommes de terre).

Renseignements. Le bœuf est remplacé 2 fois par semaine, le mardi et le jeudi, par des abatis de porc ou de bœuf apprêtés avec des pommes de terre.

Du 1er mai au 1er octobre, il y a, à 4 heures du soir, un quatrième repas qui se compose d'un morceau de pain et de 1 décilitre de vin.

Pain.	900 gr. par jour, déduit de la consommation de l'année.
Pommes de terre.	750 gr. par jour.
Lait	100 litres par an dans les soupes.

Résumé de l'alimentation par jour. (Moyenne 14 ans.)

Pain	900 gr.
Viande	60
Pommes de terre	750
Légumes secs	100
Légumes frais	100
Vin	15 centil.

7° *Établissement charitable du Neuhof* (près Strasbourg). 30 filles et 60 garçons : 90 enfants de 6 à 16 ans (moyenne 11 ans).

Il y a lieu d'ajouter pour l'évaluation du pain et des pommes de terre par enfant et par jour, 8 apprentis et 17 personnes de service[1].

Pain (1/3 seigle, 2/3 froment) : 90 miches de 6,500 gr. chacune, pour 3 jours et demi à répartir entre 115 personnes.

Pommes de terre, 300 hectol.[2] par an, pour 115 personnes.

Viande, 20 kilogr. par semaine pour 90 enfants.

Lait, 90 litres de lait caillé par semaine pour 90 enfants.

Vin, 14 centil. par semaine, par enfant (le dimanche).

Légumes secs, 25 litres par semaine (1 fois, le dimanche).

Légumes verts, 12 paniers de 7 kilogr. chacun, par semaine, entre 115 personnes.

Orge, riz, gruau de maïs, 25 gr. en moyenne par jour.

Fruits (pommes, poires, prunes, noix, groseilles, cerises, raisins), 30 gr.

Résumé de l'alimentation par enfant et par jour. (11 ans.)

Pain	730 gr.
Pommes de terre	520
Viande	30
Lait	140
Vin	2 centil.
Légumes secs	30 gr.
Légumes verts	105
Orge, riz, etc	25
Fruits	30

1. Il est fait à cet établissement un grand nombre de dons en nature.
2. L'hectolitre de pommes de terre pèse moyennement 75 kilogr.

Poids de chaux contenue dans l'alimentation, abstraction faite de l'eau.

1° Enfant à la mamelle :

	Chaux.
75 centilitres de lait de femme. . . .	0.837 gr.

Ou au biberon :

1 litre de lait de vache	0.790

2° Petit campagnard des Vosges (10 ans) :

Pain de seigle.	0.090 gr.
Pommes de terre	0.180
Lait.	0.237
Légumes frais.	0.062
Viande.	0.008
	0.577

3° *Lycée* (moyenne 10 ans) :

Pain	0.210 gr.
Viande.	0.150
Vin.	0.0164
Lait	0.0252
Pommes de terre	0.0385
Légumes secs[1]	0.096
Légumes frais[2]	0.065
	0.6011

4° *Hospice des orphelins* (moyenne 10 ans et demi) :

Pain.	0.200 gr.
Viande	0.084
Pommes de terre	0.086
Légumes secs	0.060
Légumes frais	0.025
Riz, orge, gruau.	0.009
Vin blanc.	0.003
Lait[3]	0.005
	0.472

1. J'ai pris, pour les légumes secs, 2 gr., comme la moyenne de chaux contenue dans 1 kilogr., d'après le tableau général.

2. J'ai pris, pour les légumes frais, le nombre relatif au navet.

3. J'ai omis le beurre dans ce calcul, comme dans les autres, parce que j'ignore la proportion de chaux qui lui répond.

5° *Asile du Willerhof* (moyenne 11 ans) :

	Chaux.
Pain	0.251 gr.
Pommes de terre	0.099
Viande	0.050
Fromage blanc ou lait caillé	0.079
Légumes secs	0.110
Légumes frais	0.040
Farinages	0.014
	0.643

6° *Colonie d'Ostwald* (moyenne 14 ans) :

Pain	0.322 gr.
Viande	0.050
Pommes de terre	0.135
Vin	0.014
Légumes frais	0.062
Légumes secs	0.200
	0.783

7° *Établissement du Neuhof* (moyenne 11 ans) :

Pain	0.261 gr.
Pommes de terre	0.094
Viande	0.025
Lait	0.111
Légumes secs	0.060
Légumes verts	0.065
Orge, riz, etc.	0.012
Fruits [1]	0.009
	0.637

En récapitulant les résultats obtenus, on trouve :

	Chaux des aliments.
1° Hospice des orphelins (10 ans et demi)	0.472 gr. [2]
2° Petit campagnard des Vosges (10 ans)	0.577

1. J'ai adopté pour les fruits le nombre 0.3, répondant à la poire.

2. Ce nombre m'ayant paru faible, comparé aux autres, j'ai eu l'idée de demander s'il n'y avait pas de filles dans l'établissement, et c'est alors que le directeur de l'hospice a eu l'obligeance de m'écrire que les 160 enfants se composaient de 71 garçons et de 89 filles, ce qui explique la faiblesse lerative du poids de chaux obtenu.

	Chaux des aliments.
3° Lycée (10 ans)	0.601 gr.
4° Établissement du Neuhof (11 ans)	0.637
5° Asile du Willerhof (11 ans)	0.643
6° Colonie d'Ostwald (14 ans)	0.783
7° Enfant à la mamelle ou au biberon, de 0.790 gr. à	0.837

Ce dernier tableau est intéressant à divers égards; il montre que pour l'enfant à la mamelle, comme pour l'enfant de 10 à 14 ans, la proportion de chaux prise avec les aliments, l'eau exceptée, est en général bien supérieure à celle qui doit normalement servir au développement du squelette; nous avons trouvé, en effet, 232 milligr. pour ce dernier nombre, et en le comparant aux nombres du tableau qui précède, on voit que ces derniers valent environ de 2 à 4 fois le premier.

Il serait donc peu à craindre, en Alsace du moins, que le tissu osseux ne pût se développer, si la chaux venait à manquer dans les eaux potables.

D'autre part, si on cherche ce que 2 litres d'eau, qui sont considérés, en général, comme représentant la consommation moyenne par jour, renferment de chaux, on trouvera que, si le degré hydrotimétrique est égal à 20°, comme il arrive à peu près à Paris, à Strasbourg et à Dijon, le poids de chaux prise avec l'eau est de 228 milligr., nombre qui diffère à peine du poids de chaux nécessaire au développement du squelette. On voit que ce nombre, tout en modifiant la proportion de chaux introduite dans l'économie, ne l'accroîtrait pas sans doute d'une manière assez marquée pour qu'elle pût y nuire.

Mais il en serait tout autrement si le degré hydrotimétrique s'élevait à 100°; dans ce cas la quantité de chaux introduite par l'eau dans l'économie pourrait être de 2 à 3 fois celle des aliments, et alors cette proportion de chaux pourrait être un danger.

Je crois avoir fait passer, par les nombres qui précè-

dent, la question de la chaux contenue dans les eaux, du domaine des conjectures dans celui des faits, j'ai indiqué la marche à suivre et je l'ai appliquée à un certain nombre d'exemples.

Mes conclusions, en ce qui concerne la période d'accroissement, ne s'appliquent qu'à ces exemples, j'en conviens; mais j'engage les médecins hygiénistes à faire les mêmes calculs pour d'autres pays, afin de savoir si elles sont vraies dans tous les cas, ou si elles doivent varier avec le lieu.

J'ajoute que, comme les résultats obtenus dépendent de l'exactitude des nombres du tableau qui renferme les proportions de chaux par kilogramme des divers aliments, il est à désirer que les chimistes reprennent toutes ces analyses, dans divers pays et en divers temps, pour avoir les limites des proportions de chaux qu'un même aliment peut renfermer.

Je me résume dans les termes suivants :

1° A l'époque où le développement est terminé, on peut admettre que les eaux qui renferment le moins de chaux doivent être préférées.

2° Le développement des enfants dans certaines parties des Vosges où les eaux sont très-peu calcaires, se faisant d'une manière normale, non-seulement en ce qui concerne le tissu osseux, mais encore pour les autres tissus, je prendrai comme limite inférieure *provisoire* de la chaux qui doit pénétrer dans le corps d'un enfant de 10 ans le poids de cette base, qui est fourni par l'alimentation d'un petit campagnard des Vosges, c'est-à-dire 577 milligr. pour les aliments et, en admettant que l'eau consommée ait une moyenne de 10° hydrotimétriques, 114 milligr. pour l'eau, c'est-à-dire comme somme totale 691 milligr., ou en nombres ronds 7 décigr. et 8 décigr. à 12 ans.

Par conséquent la quantité de chaux qui convient par jour

à un enfant de 10 à 12 ans est sensiblement égale à celle qui pénètre dans l'économie pendant la première année de son développement.

3° Ceci posé, quand, dans un lieu quelconque, on connaîtra le mode d'alimentation moyenne des enfants de 10 à 12 ans, on cherchera le poids de chaux qui y répond par jour; s'il est inférieur à 8 décigr., l'eau devra fournir le complément, et son degré hydrotimétrique minimum se déterminera sans difficulté [1]; s'il est supérieur à 8 décigr., l'eau la plus pure devra être préférée.

4° Une eau, dont le degré hydrotimétrique sera a, introduira dans l'économie un poids de chaux égal à $2a \times 5.7$ milligr., on en défalquera le complément nécessaire au corps dans la période d'accroissement, et on comparera le reste à 8 décigr. Si ce reste est une fraction assez faible de ce nombre, l'eau sera bonne; s'il s'élève jusqu'à égaler ou surpasser 8 décigr., elle devra être mise en suspicion.

Je terminerai ce chapitre en faisant connaître l'un des moyens qui ont été employés pour la détermination de la chaux dans les eaux, et en donnant le tableau des résultats qu'il a fournis pour diverses localités en France et à l'étranger.

La méthode proposée par MM. Boutron et Boudet[2] pour la recherche des matières inorganiques en dissolution dans les eaux de sources et de rivières permet de faire un grand nombre d'analyses d'eaux dans un temps relativement court, et paraît suffisamment précise, d'ailleurs, pour les sels de chaux et de magnésie, si l'on compare les résultats qu'elle fournit à

---

1. Si a représente en décigrammes la proportion de chaux des aliments, on aura pour le degré $\frac{8 - a}{2 \times 0.057}$.

2. *Hydrotimétrie*, par MM. Boutron et Boudet. Paris, V. Masson, 1856, p. 10.

ceux donnés directement par les moyens analytiques ordinaires.

« La méthode que nous proposons, disent les auteurs de « l'*Hydrotimétrie*, a pour point de départ les curieuses obser- « vations du docteur Clarke sur l'emploi de la teinture alcoo- « lique du savon pour mesurer la dureté des eaux. Elle est « fondée sur la propriété si connue que possède le savon « de rendre l'eau pure mousseuse, et de ne produire de « mousse dans les eaux chargées de sels terreux, et particu- « lièrement à bases de chaux et de magnésie, qu'autant que « ces sels ont été décomposés et neutralisés par une propor- « tion équivalente de savon, et qu'il reste un petit excès de « celui-ci dans la liqueur.

« La dureté d'une eau étant proportionnelle aux sels ter- « reux qu'elle contient, la quantité de teinture de savon néces- « saire pour y produire la mousse peut donner la mesure de « sa dureté.

« Tel est le principe que le docteur Clarke a établi, et à « l'aide d'une burette graduée et d'une liqueur titrée, qu'il a « mises en usage en Angleterre, on peut apprécier la dureté « des eaux et la proportion des matières incrustantes qu'elles « déposent sous l'influence d'une ébullition prolongée[1].

« C'est au développement de ce principe que nous nous som- « mes attachés, convaincus qu'il pouvait fournir un procédé « facile et rapide pour doser, dans les eaux de sources et de « rivières, les principales substances qu'elles contiennent, telles « que la chaux et la magnésie, et les acides avec lesquels ces « bases s'y trouvent le plus ordinairement combinées.

« Le fait fondamental sur lequel nous nous appuyons est « donc la production de la mousse dans l'eau pure par le sa- « von et l'obstacle que les bases terreuses apportent à cette

---

1. *Note on the examination of water for towns, for its hardness and for the incrustation it deposits on boiling.*

« production en transformant le savon en composés inso-
« lubles.

« Vient-on, en effet, à verser quelques gouttes d'une tein-
« ture alcoolique de savon dans un flacon renfermant, par
« exemple, 40 centim. cubes ou 40 gr. d'eau distillée, si l'on
« agite le mélange, il se forme immédiatement à la surface du
« liquide une couche de mousse légère et persistante; mais si,
« au lieu d'eau distillée, on emploie une eau plus ou moins
« calcaire ou magnésienne, le phénomène de la mousse n'ap-
« paraît qu'autant que la chaux ou la magnésie contenues dans
« cette eau ont été neutralisées par une quantité proportion-
« nelle de savon, et que l'on a ajouté un léger excès de ce-
« lui-ci, qui, ne rencontrant plus de chaux ni de magnésie,
« manifeste ses propriétés comme s'il se trouvait dans l'eau
« pure.

« La proportion de savon exigée par 40 centim. cubes d'une
« eau quelconque pour produire une mousse persistante donne
« donc la mesure de la quantité de sels calcaires ou magné-
« siens contenus dans cette eau, et comme pour la plupart des
« eaux de sources et de rivières la chaux et la magnésie sont
« les principales matières qui, combinées avec différents aci-
« des, influent réellement sur leur qualité, il est évident qu'en
« déterminant la proportion qu'elles renferment de ces bases,
« on détermine la valeur de ces eaux relativement au plus
« grand nombre de leurs usages.

« La formation de la mousse à la surface de l'eau est d'ail-
« leurs un phénomène si saillant, la proportion de savon que
« nous avons reconnue nécessaire pour la produire (1 décigr.
« par litre) est si faible, et le moment où une eau calcaire ou
« magnésienne cesse de neutraliser le savon et devient mous-
« seuse par l'agitation est si facile à saisir, qu'une dissolution
« alcoolique de savon peut être considérée comme un réactif
« extrêmement sensible pour déceler et doser les sels calcaires
« et magnésiens dans des liquides très-étendus, tels que les

« eaux de sources et de rivières. Le mérite essentiel de ce « réactif résulte, il faut le remarquer, de cette circonstance, « qu'il indique immédiatement lui-même par un phénomène « très-saillant, celui de la mousse, la limite de l'action que les « bases terreuses exercent sur lui. »

La dissolution alcoolique de savon est titrée au moyen d'une dissolution de chlorure de calcium fondu, renfermant 0.25 gr. de ce sel par litre d'eau distillée.

Je n'entre point ici dans les détails de préparation de cette liqueur, ni dans ceux relatifs à la division de la burette.

Je me borne à faire remarquer que 2.4 centim. cubes sont dans la burette, partagés en 23 divisions égales, et que la liqueur d'épreuve doit être titrée de manière que 23 divisions soient rigoureusement nécessaires pour produire une mousse persistante avec 40 centim. cubes de la dissolution normale de chlorure de calcium. Il résulte de ces conditions que chaque degré de liqueur d'épreuve neutralisée par 40 centim. cubes de dissolution normale représente 0.0114 gr. de chlorure de calcium par litre, et en admettant 6453 pour l'équivalent du savon, que chaque degré hydrotimétrique représente 1 décigramme de savon neutralisé par litre de dissolution normale [1]. Toute autre dissolution d'un sel de chaux ou de magnésie capable de former un composé insoluble avec les acides du savon peut être analysée aussi facilement que le chlorure de calcium, et on peut dresser un tableau des poids[2] de ces divers sels qui répondraient à 1° hydrotimétrique.

Partant de là, il est clair qu'une eau de source ou de rivière contenant, comme cela arrive ordinairement, des sels de chaux et de magnésie, le degré observé donnera tout à la fois la proportion de chlorure de calcium et la proportion de savon neutralisé équivalant à ces sels pour 1 litre d'eau exa-

1. Le nombre exact serait de 0.106 gr.
2. *Hydrotimétrie*, p. 39.

Pain de seigle	250 gr.
Pommes de terre	1,000
Lait	300
ou Fromage	100
Légumes frais, (choux, navets, etc.)	100
Viande	10

3° *Lycée de Strasbourg.*

Moyennes de la consommation par élève et par jour.

Aliments.	De 8 à 12 ans.	De 12 à 16 ans.	De 16 à 20 ans.
Pain	0.585 kil.	0.645 kil.	0.705 kil.
Viande	0.179	0.1898	0.1988
Vin	0.1787 lit.	0.2197 lit.	0.2607 lit.
Lait	0.032	0.038	0.044
Beurre	0.0163 kil.	0.0163 kil.	0.0163 kil.
Pommes de terre	0.2137	0.3037	0.3937
Légumes secs	0.0477	0.0577	0.0677
Légumes frais	0.1055	0.1155	0.1255

4° *Hospice des orphelins de Strasbourg.* 71 garçons, 89 filles: 160 enfants de 7 à 14 ans (moyenne 10 ans et demi).

Pain.	bis	400 gr.
	blanc	160 gr. pour la soupe.
Viande.	Bœuf	150 gr. 3 fois par semaine.
	Fressures	150 gr. une fois par semaine.
	Saucisses	100 gr. une fois par semaine.

Pommes de terre . . . . . 480 gr. par jour.

Beurre . . . . . 20 gr. par jour.

Légumes secs. { Pois, Lentilles, Haricots } 2 fois en hiver par semaine, 1 fois en été, 30 litres[1] chaque fois à répartir entre 177 personnes[2].

Choucroute ou choux, 45 kilogr., le dimanche pendant toute l'année.

Navets et carottes, de 2 à 3 paniers[3], 1 fois par semaine pendant 3 mois.

Riz, gruau, orge mondé, 20 kilogr., 1 fois par semaine pendant l'année.

Vin blanc. . . . . 12.50 centil., 2 fois par semaine.

Lait. . . . . 8 litres le samedi, pour la soupe.

---

1. Le litre pèse moyennement 850 gr.
2. Il y a 17 personnes de service, indépendamment des 160 enfants.
3. Le panier est de 25 litres et pèse moyennement 15 kilogr.

« de manganèse, qui forment aussi, avec les acides du savon, « des combinaisons insolubles et dont la présence est égale- « ment accusée par la liqueur d'épreuve. Leur influence vient « donc s'ajouter à celle qu'exercent sur le savon les sels de « chaux et de magnésie; mais il est à remarquer que, dans la « plupart des eaux de rivières ou de sources non minérales, « ces matières ne se rencontrent qu'en proportions extrême- « ment faibles. »

J'ai peu de confiance dans la détermination de l'acide carbonique libre, qu'on fera mieux de chercher par la méthode ordinaire modifiée par M. Peligot[1], et dans celle de l'acide sulfurique, qu'on fera bien de n'accepter qu'à titre d'essai.

Pour me résumer, je dirai qu'à l'aide de l'hydrotimètre on peut 1° donner aux eaux un numéro d'ordre qui indique la proportion de savon qu'elles neutralisent par litre et leur rang au point de vue de la plupart des usages économiques ou industriels; 2° trouver à un degré d'approximation suffisant les poids de chaux et de magnésie qu'elles contiennent par litre.

Cette dernière base y est le plus souvent dans des proportions plus faibles que l'autre, et y joue d'ailleurs à peu près le même rôle, de sorte qu'on pourra reconnaître ordinairement, par le degré hydrotimétrique d'une eau, sa valeur comme eau potable, et immédiatement aussi, dans la plupart des cas, sa valeur au point de vue des applications économiques ou industrielles.

Je joins, pour plus de précision, au tableau des degrés hydrotimétriques un deuxième tableau, indiquant par litre les poids de chaux trouvés dans un certain nombre d'eaux.

---

1. *Annales de chimie et de physique*, t. XLIV, p. 257.

Tableau hydrotimétrique des eaux de sources, de rivières et de puits.

	Degrés hydrotimétriques.
Eau distillée	0
— de neige (à Paris)	2°,5
— de pluie (à Paris)	3°,5
— de l'Allier (à Moulins)	3°,5
— de la Dordogne (à Libourne)	4°,5
— de la Garonne (à Toulouse)	5°
— de la Loire (à Tours)	5°,5
— de la Loire (à Nantes)	5°,5
— du puits de Grenelle	9°
— de la Soude	13°,5
— de la Somme-Soude	13°,5
— de la Somme (Marne)	14°
— du Rhône	15°
— de la Saône	15°
— de la Seine (au pont d'Ivry, 15 déc. 1854)	15°
— de la Seine (au pont d'Ivry, 16 fév. 1855)	17°
— de la Seine (à Chaillot, 16 fév. 1855)	23°
— de la Marne (à Charenton, 13 fév. 1855)	19°
— de la Marne (à Charenton, 23 fév. 1855)	23°
— de l'Oise (à Pontoise)	21°
— de l'Escaut (à Valenciennes)	24°,5
— du canal de l'Ourcq	30°
— d'Arcueil	28°
— des Prés Saint-Gervais	72°
— de Belleville	128°[1]
Sources du granit du Morvan et des Arkoses	2 à 11°
— des sables de la craie inférieure	7 à 12°
— des sables de Fontainebleau	6 à 22°
— de la craie blanche	12 à 17°
— de la craie marneuse	14.5 à 22°
— du calcaire à entroques (base du syst. oolithique)	16 à 21°,5
— des calcaires de la Beauce (terrain tertiaire)	17 à 25°
— de la craie blanche recouverte de terrains tertiaires	17 à 25°,5
— des roches oolithiques dures	17.5 à 26°
— du niveau d'eau des marnes vertes, terrain non gypsifère	20 à 30°

1. *Hydrotimétrie*, p. 34.

	Degrés hydrotimétriques.
Sources du niveau d'eau de l'argile plastique (terrains tertiaires éocènes)	20 à 35°
— des terrains oolithiques marneux	21°,5 à 34°
— des terrains tertiaires compris entre le dessus des calcaires de Saint-Ouen et l'argile plastique	21°,5 à 46°
— du niveau d'eau des marnes vertes et des marnes du gypse (partie gypsifère); sources de la banl. de Paris.	23 à 155°[1]

ANGLETERRE.

Eaux des Compagnies qui alimentent Londres	15°,4 à 22°,4
Eau de Manchester	16°,8
— de Glascow	6°,3
— d'Édimbourg	7°
— du puits Torrington Square à Londres	112°
— du puits de la grille du Collége	44°,8
— d'un puits de Charlotte Street, Bedford Square	60°,9
— des puits artésiens de Londres	7°,7
— de Bolton[2]	1°,9 à 5°,9

	Degrés de Hardness.
Londres	11° à 16°
Liverpool	12° à 15°
Manchester	12°
Glascow (eau de la Clyde)	15°
Glascow (eau des montagnes)	4°
Édimbourg	5°
Newcastle	5°
Aberdeen	1°
Fachnam	1° à 2°
Bolton[3]	1°

LYON, ETC.

	Degrés hydrotimétriques.
Ruisseau du Rossand, près Montmorand	0°,75
— de la Barge, près Montmorand	0°,75

1. Ces nombres sont empruntés aux documents relatifs aux eaux de Paris de M. l'ingénieur en chef Belgrand, 2e mémoire. Paris, 1861.

2. *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*, p. 176.

3. Rapport de MM. Houzeau et Blavier. 1852, p. 39.

Les nombres ci-dessus doivent être multipliés par 1.4 pour être transformés en degrés hydrotimétriques.

	Degrés hydrotimétriques.
Eau de l'Almon	32°,50
— de puits (hôpital français de Saint-Dominique)	14°
Puits de la rue Rasella	29°
— près du pont Salario[1]	64°
Eau de la source de Gorze à Metz	23°
— de la source du Rosoir à Dijon	23°,5
STRASBOURG, ETC.	
Puits de la place d'Austerlitz[2]	25°,50
— de la cour du Lycée	21°
— de la cuisine du Lycée (foré)	17°
— de l'Hôtel de ville (cour des écuries)	20°,5
— des bâtiments de Saint-Jean	44°
— du quai Kléber	21°
Source de Grandfontaine (Vosges)	7°
— de Framont (Vosges)	6°
— de la forêt de Guirbaden	1°,5
— de Klingenthal (prop. Coulaux)	4°
— de Klingenthal (prop. Gast)	2°
— du Hohwald	6°
— du Champ du Feu	2°,5
Eau du Drulygraben (près Benfeld)	20°
— du Grand-Rhin (prise d'eau d'Altenheim)	12°,25
— du Petit-Rhin (en aval du pont)	12°,5
— du Rhin-Tortu (prise d'eau dans la Kraft)	14°
— du Rhin-Tortu (moulin de la Gantzau)	12°,50
— du Rhin-Tortu (en amont de la jonction avec l'Ill)	13°
— du Ziegelwasser (prise d'eau dans le Rhin-Tortu)	12°,5
— de l'Ill (jonction du Rhin-Tortu et du canal de l'Ill au Rhin)	14°
— de l'Ill (au Herrenwasser)	16°
— de l'Ill (canal du moulin Zorn)	13°,5
— de la Bruche (en amont de sa jonction avec l'Ill)	11°,75
— du canal de la Bruche (en aval de la dernière écluse)	10°
— de la dérivation du canal de la Bruche (près de la Tour-Verte)	10°

1. *Recherches sur les eaux potables et minérales du bassin de Rome*, par MM. Commaille et Lambert. Paris, Germer Baillière, 1860, 1 broch. in-8°.

2. *Mémoire sur les études faites pour la distribution d'eaux potables et arrosables à Strasbourg*, par M. Lornier. 1859.

	Degrés hydrotimétriques.
Eau de la pompe de l'auberge de la *Tour-Verte*, voisine du canal.	19°,5
— du puits de la colonie d'Ostwald	26°
— du Grand-Rhin à Huningue (près de la prise d'eau du canal).	13°,75
— de puits à Huningue (maison éclusière)	19°
— de puits à Huningue (place d'Armes)	27°
— de puits à Huningue (près de la Mairie)	31°
Sondage dans la plaine de Hœrdt	20°
— sur l'Esplanade de la citadelle de Strasbourg, après avoir pompé 6 heures	20°
— près du Petit-Rhin (en aval du pont, cote 135m,97)	20°
— près du Petit-Rhin (cote 133m,97)	20°
— près du Petit-Rhin (cote 131m,97)	16°
— près du Petit-Rhin (cote 129m,97)	16°,75
— près du Petit-Rhin (cote 129m,70, point d'arrêt du sondage)	20°
— près du Petit-Rhin (même côte, après avoir pompé 6 h.)	16°[1]

BARR[2].

Fontaine Saint-Simon (commune de Heiligenstein)	30°,25
— de la place	25°,25
— de la Mairie	25°,9
— Laquiante (forêt)	6°,4
— des bains Baumry	26°,8
— dite Genzelsbrunnen	20°,4
Eau de la Kirneck (prise près de la fontaine Laquiante)	3°,2
— de la Kirneck (prise dans Barr)	7°,3

Cette dernière eau, quoique la plus pure des eaux de Barr, quant à la chaux, ne peut entrer dans la consommation parce qu'elle est souillée par les résidus des fabriques qui sont en amont et par les opérations de tannage.

La plus pure des eaux de fontaine mentionnées plus haut, à part la fontaine Laquiante, est l'eau de la fontaine dite *Genzelsbrunnen*, que M. le docteur Sulzer recommandait comme étant la meilleure de Barr.

1. Ces nombres sont tirés du *Mémoire sur un projet de distribution d'eau à Strasbourg*, par M. Lornier. 1859.

2. J'ai cherché ces eaux le 17 juillet 1864.

SOULTZ-LES-BAINS.	Degrés hydrotimétriques.
Eau de la Mossig, prise près du pont[1]	16°,70
— de la Bruche, prise près du grand pont, sur la rive gauche, après sa réunion avec la Mossig	7°,80
— du puits de l'auberge de l'*Ancre*, n° 207	15°,60
SAINTE-MARIE-AUX-MINES.	
Fontaine de la Grande-Place (branche inférieure)	8°,30
Puits de la *Brasserie Alsacienne*[2]	18°,50
— de la *Brasserie Kléber*[3]	9°
Fontaine de la Grande-Place (branche supérieure)	3°,70
Eau de la Lièpvrette, prise au milieu de Sainte-Marie	6°,20
— de la Lièpvrette, prise à la petite Lièpvre	3°,60
— du Rauenthal, à 10 mètres en amont du point de réunion avec le ruisseau de Surlate	3°,5
— prise à Échery, après la réunion des eaux des ruisseaux de Rauenthal et de Surlate	3°,2
Lac de Longemer, eau puisée le 30 septembre 1864	1°,1
Lièpvre. Puits de George, boucher et débitant[4]	27°

Les eaux des brasseries de Strasbourg ont donné des degrés hydrotimétriques dépendant de la profondeur de leurs puits et variant de 16° à 27°,5.

Au sujet de ces nombres je dois faire remarquer que le degré hydrotimétrique peut varier de plusieurs unités pour un même puits, selon le temps pendant lequel l'eau extraite a séjourné dans le puits. — En général plus le volume d'eau tiré d'un puits est grand, plus le degré hydrotimétrique s'abaisse vers une limite inférieure qu'il ne peut dépasser.

Quand l'eau séjourne dans un puits, sans que la pompe qui s'y alimente fonctionne, le degré hydrotimétrique paraît s'élever successivement d'une manière notable. C'est ainsi que pre-

1. Cette eau était basse au moment de la prise. — Il n'y a presque pas de fontaines dans la vallée, on n'y emploie que l'eau de puits. — Les trois eaux analysées ont été puisées le 24 juillet 1864.

2. Cette eau et la précédente ont été prises le 23 avril 1863.

3. Cette eau et les suivantes ont été puisées le 21 août 1864, le lendemain d'une forte averse.

4. Le 23 avril 1863.

minée et le numéro d'ordre de cette eau, dans une classification méthodique qui aurait pour point de départ l'eau distillée représentée par 0.

MM. Boutron et Boudet ne se sont pas arrêtés là; mais en s'appuyant sur quelques faits d'expérience, ils ont essayé de faire de l'emploi de l'hydrotimètre un moyen d'analyse quantitative, et de déterminer par diverses opérations, que je ne veux pas consigner ici, 1° l'acide carbonique libre; 2° le carbonate de chaux; 3° les sels de chaux autres que le carbonate; 4° les sels de magnésie; 5° l'acide sulfurique.

On voit qu'à part les matières qui viennent d'être indiquées, l'hydrotimètre ne fournit aucune indication sur les autres matières, qui existent, il est vrai, en faibles proportions dans les eaux de sources et de rivières, mais qui peuvent, par diverses circonstances, se trouver en proportions notables dans les eaux de puits, comme l'acide azotique et les matières organiques, éléments si importants à considérer quand il s'agit de la question des eaux potables.

Pour la détermination de la chaux et de la magnésie, l'hydrotimètre peut donner à moins d'un vingtième du poids total les proportions de ces bases, qui existent dans les eaux de puits comme dans les eaux de sources et de rivières, lorsque le degré hydrotimétrique est supérieur à 10°.

Ce degré d'approximation sera en général suffisant, soit que l'on veuille apprécier, au point de vue de ces deux bases, la qualité des eaux potables, ou celle des eaux destinées à l'industrie.

Si on voulait déterminer plus exactement les proportions de chaux et de magnésie, il faudrait recourir aux moyens analytiques ordinaires. « Indépendamment [1] des sels de chaux et de « magnésie, les eaux de sources et de rivières peuvent conte- « nir une petite quantité d'alumine, de silice, de sels de fer et

1. *Hydrotimétrie*, p. 19.

		Degrés hydrotimétriques.
Bâtiments G et F		34°,5
Jardin du rempart		35°
Petite cour de service, bâtiments des bains		37°,5
Cour de la Maternité		45°
Hospice des orphelins	Cour	17°,5
	Cuisine	23°,5
	Jardin	37°
Enclos de Saint-Marc (puits divers)		de 18°,5 à 46°
École normale	Cuisine	27°
	Cour	24°
Manufacture des tabacs		16°,75
Mairie	Grande cour	23°,5
	Cour de service	20°
Préfecture, puits de la cour		34°

Ce tableau, tout en montrant les variations assez notables que présentent les degrés hydrotimétriques des puits de Strasbourg, confirme une observation importante formulée par M. Daubrée à la page 355 de sa *Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin* (1852) dans les termes suivants: « On est aussi parvenu depuis quelques années « à améliorer l'eau de nombreux puits de Strasbourg, en les « approfondissant de 3 à 4 mètres et en y descendant un tu- « bage continu en fonte, de manière à n'avoir que de l'eau de « la nappe inférieure. Comme des lits horizontaux de limon « peu perméable divisent le gravier aquifère, de distance en « distance, au-dessous d'une eau infectée par quelque influence « locale, on peut ainsi trouver des eaux plus pures. Certains « puits habituellement de bonne qualité se corrompent à la « suite des basses eaux qu'amènent les sécheresses de l'été. « Quoique l'approfondissement soit un moyen assez fréquent « d'améliorer l'eau des puits des villes, l'efficacité de ce pro- « cédé n'est pas tout à fait générale. A Mulhouse, quand on « creuse au delà de 6 mètres de profondeur, on arrive dans « un gravier de nature différente de celui qui occupe la sur-

Tableau hydrotimétrique des eaux de sources, de rivières et de puits.

	Degrés hydrotimétriques.
Eau distillée	0
— de neige (à Paris)	2°,5
— de pluie (à Paris)	3°,5
— de l'Allier (à Moulins)	3°,5
— de la Dordogne (à Libourne)	4°,5
— de la Garonne (à Toulouse)	5°
— de la Loire (à Tours)	5°,5
— de la Loire (à Nantes)	5°,5
— du puits de Grenelle	9°
— de la Soude	13°,5
— de la Somme-Soude	13°,5
— de la Somme (Marne)	14°
— du Rhône	15°
— de la Saône	15°
— de la Seine (au pont d'Ivry, 15 déc. 1854)	15°
— de la Seine (au pont d'Ivry, 16 fév. 1855)	17°
— de la Seine (à Chaillot, 16 fév. 1855)	23°
— de la Marne (à Charenton, 13 fév. 1855)	19°
— de la Marne (à Charenton, 23 fév. 1855)	23°
— de l'Oise (à Pontoise)	21°
— de l'Escaut (à Valenciennes)	24°,5
— du canal de l'Ourcq	30°
— d'Arcueil	28°
— des Prés Saint-Gervais	72°
— de Belleville	128°[1]
Sources du granit du Morvan et des Arkoses	2 à 11°
— des sables de la craie inférieure	7 à 12°
— des sables de Fontainebleau	6 à 22°
— de la craie blanche	12 à 17°
— de la craie marneuse	14.5 à 22°
— du calcaire à entroques (base du syst. oolithique)	16 à 21°,5
— des calcaires de la Beauce (terrain tertiaire)	17 à 25°
— de la craie blanche recouverte de terrains tertiaires	17 à 25°,5
— des roches oolithiques dures	17.5 à 26°
— du niveau d'eau des marnes vertes, terrain non gypsifère	20 à 30°

1. *Hydrotimétrie*, p. 34.

	Grammes.
Eau du Rhône à Lyon (2 mars 1839)	0.084
— du Rhin[1] à Strasbourg (mai 1846)	0.082
— de la Compagnie générale des eaux de Lyon[2] (juin 1860)	0.07488
— de la Gironde[3] à Pauillac (haute mer)	0.314
— de la Garonne[4] devant Bordeaux . . . haute mer	0.039
— de la Garonne[4] devant Bordeaux . . . basse mer	0.0555
Rome[5]. Eau Felice	0.06844
— — Vergine ou de Trevi	0.0638
— — Pauline	0.0272
— — du Tibre	0.1416
Eau de la Tamise[6] (d'après Bennett)	0.115
— d'un puits du bassin de Londres, d'après Graham, environ.	0.090
— d'Arcueil[7] prise au château d'eau de l'Observatoire, d'après Boutron et Henry	0.128
— du canal de l'Ourcq puisée à la gare circulaire de la Villette.	0.1024
Bruche à Heiligenberg[8] (12 juin 1860)	0.013
Bruche près Strasbourg (30 mai 1860)	0.018
Ill en amont (19 août 1860)	0.043
Ill aux Ponts-Couverts (19 août 1860)	0.040
Grand-Rhin (17 août 1860), au milieu du pont de Kehl à 2 mètres de profondeur	0.054
Strasbourg[9]. Eau de la pharmacie de l'Hôpital militaire	0.1041
— — de la cuisine de l'Hôpital militaire	0.1033
— — du puits de la cour des écuries de la caserne d'Austerlitz	0.1143

1. Nombres tirés du *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*, p. 174.

2. Calculé d'après l'analyse de M. Seeligmann, consignée dans l'*Essai chimique sur les eaux potables* (2e mémoire, p. 41): en multipliant, comme on le fera en général, le poids de carbonate de chaux par $^{14}/_{25}$ ou par $^{3}/_{5}$, celui du sulfate de chaux par $^{7}/_{17}$, et celui du chlorure de calcium par $^{1}/_{3}$.

3. Calculé d'après l'*Analyse chimique des eaux de la Gironde*, par Fauré. Bordeaux, 1853, p. 33.

4. *Analyse chimique*, par Fauré, p. 38.

5. *Recherches sur les eaux potables de Rome*, par MM. Commaille et Lambert, p. 25.

6. Pelouze et Fremy, t. Ier, p. 203.

7. Pelouze et Fremy, t. Ier, p. 200, 201.

8. *Hydrographie médicale*, p. 37.

9. Roger et Lévy, *Analyse des eaux de Strasbourg*.

		Grammes.
STRASBOURG.	Eau d'un puits de la rue du Dôme (n° 14)	0.1578
—	— de la Citadelle	0.0645
—	— d'un puits de la caserne Saint-Nicolas	0.1156
—	— de la Manutention des vivres	0.1214
—	— de la caserne des pontonniers	0.1191
—	— de la caserne Finckmatt	0.1220
—	— de la caserne du faubourg de Saverne	0.1263
—	— de la caserne des Ponts-Couverts	0.1267
—	Hôpital civil[1]. Bâtiment N dans la cour, avant le forage	0.1548
	Hôpital civil[1]. Bâtiment N dans la cour, après le forage	0.0706
—	Hospice des orphelins (cuisine)	0.081
—	Enclos de Saint-Marc (boulangerie)	0.06353
—	École normale (cuisine)	0.0993
—	Manufacture des tabacs	0.06153
—	Mairie, Grande cour	0.07469
	Mairie, Cour de service	0.0691
—	Préfecture, puits de la cour	0.1238
—	Sondage exécuté sur l'Esplanade de la Citadelle[2]	0.0844
—	Sondage exécuté près du Petit-Rhin[3]	0.066
Eau de l'hôpital militaire de Phalsbourg		0.0481

Si on veut se donner la peine de comparer les deux tableaux qui précèdent, on s'assurera que les poids de chaux et les degrés hydrotimétriques varient toujours dans le même sens et que souvent ils sont, non pas rigoureusement, mais sensiblement proportionnels.

§ 2. Magnésie.

La magnésie entre dans le tissu osseux pour une proportion très-faible et y joue, à cet égard, un rôle moins important que la chaux. D'après Berzelius[4], la magnésie entre dans les os à l'état de phosphate, et le phosphate de magnésie n'y dépasse pas 1.16 p. 100 dans les os humains. Le calcul donne

1. *Hydrographie médicale*, p. 98-101.
2. Analyse de MM. Jacquemin et Roger. } *Mémoire* de M. Lornier, p. 37 et 39.
3. Analyse de MM. Liès-Bodard et Rosenstiehl. }
4. Pelouze et Fremy, t. VI, p. 262.

25 gr. pour le poids de magnésie contenu dans un squelette humain de 6 kilogr.; en ajoutant 5 gr. pour le poids de magnésie qui se trouve dans le reste de l'organisme, nous aurons un poids moyen de 30 gr. pour la magnésie contenue dans le corps humain dont l'accroissement est terminé.

D'après l'analyse de M. Schwentz[1], 1 litre de lait de femme renfermant 5 décigr. de phosphate de magnésie, ou 178 milligr. de magnésie, 168 litres de ce lait suffiraient pour fournir à l'économie toute la magnésie dont elle a besoin, s'il ne se produisait des pertes par les sécrétions et les excrétions.

Le lait de vache paraît moins riche en phosphate de magnésie. D'après MM. Pfaff et Schwartz[2], il n'en renfermerait que 17 centigr. par litre, ou 42 centigr. selon M. Haidlen[3]; on voit, d'après ces nombres, que l'usage du lait suffit, à lui seul, à fournir à l'économie une quantité de magnésie bien supérieure à celle qui est nécessaire au développement du squelette. Lorsqu'on ne fait pas usage de lait ou de fromage, la magnésie qui entre dans les autres produits de l'alimentation et entre autres dans le froment, l'orge, le seigle et la pomme de terre[4], comme on pourra s'en assurer par les analyses de MM. Boussingault, Frésenius, Will et Kœchlin, sera en proportion bien plus forte que celle qui serait strictement nécessaire pour le développement du squelette. En prenant, par exemple, l'analyse du froment qu'on doit à M. Boussingault, le calcul donne 2gr,601 de magnésie par kilogramme de froment. On peut, en conséquence, dire qu'il est inutile que les eaux potables renferment de la magnésie et affirmer qu'il est préférable qu'elles n'en renferment point, non-seulement pour l'homme arrivé à l'âge de son complet développement, mais pendant le temps de son accroissement. Mais on doit ajouter aussi que la quantité de magnésie contenue dans les

---

1-3. Pelouze et Fremy, *Traité de chimie générale*, 2e édition, t. VI, p. 202.
4. *Idem*, p. 503, 509, 511.

eaux est le plus souvent insignifiante et tout à fait négligeable relativement à celle qui entre dans les aliments ordinaires. Les eaux renferment, en général, une proportion de magnésie plus faible que celle de la chaux. Cependant cette proportion est plus forte que celle qui résulte du rapport du poids moyen de magnésie au poids de chaux dans le corps humain, rapport qui est environ de $^1/_{70}$.

Le poids de magnésie peut varier, par litre d'eau, de 1 à 50 milligr. environ[1]; les eaux de puits paraissent en général plus riches en magnésie que les eaux de fleuves ou de rivières.

Il importe de faire remarquer encore que l'usage de certaines eaux minérales assez fortement magnésiennes, ou de médicaments magnésiens, pris avec quelque suite par l'économie, ne permet pas de supposer que la présence de la magnésie dans les eaux puisse avoir des inconvénients.

Toutefois on ne doit pas oublier que le développement des calculs de phosphate ammoniaco-magnésien doit dépendre de la proportion de magnésie introduite dans l'économie.

Je ne quitterai point ce sujet sans apprécier l'opinion émise par M. le docteur Grange, que le développement du goître est dû à l'existence des sels magnésiens dans les eaux potables.

Si l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, M. Élie de Beaumont, s'est borné à dire, il y a quatorze ans, que cette opinion ne paraît pas établie sur des bases irrécusables,[2] je crois qu'on peut admettre, aujourd'hui, que l'assertion de M. Grange n'est point fondée, parce que la proportion de magnésie qui entre dans l'économie par les matières alimentaires est, en général, bien supérieure à celle qui y entre par la consommation de l'eau.

Bon nombre d'observations l'infirment d'ailleurs; je n'en citerai que deux : Les eaux des puits de Rhodez contiennent

1. Voir le tableau p. 174 du *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures.*

2. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XXXII, p. 617.

en moyenne, d'après M. Blondeau, 5 fois plus de magnésie que les eaux de la vallée de l'Isère, analysée par M. Grange, et cependant les maladies endémiques, telles que le goître et le crétinisme, sont complétement inconnues dans le chef-lieu de l'Aveyron[1].

En second lieu, un travail[2] de M. Demortain, pharmacien en chef de l'armée d'Italie, établit que les localités de Lombardie, où il a été observé le plus de goîtreux, sont celles dont les eaux courantes sont à la fois dépourvues de chlorures et de sels magnésiens.

Je résume en ces termes ce qui concerne la magnésie : La proportion de magnésie contenue dans les eaux est complétement négligeable au point de vue de l'alimentation.

§ 3. Potasse, soude.

La potasse et la soude jouent dans l'économie un rôle trop analogue pour que nous les séparions ici. On sait qu'elles ont pour effet de contribuer à dissoudre les matières albumineuses dans le canal intestinal et l'hématosine dans le sang.

Dans le sang, le poids de la soude est égal à 17 fois environ celui de la potasse, tandis qu'il est 3 fois plus faible dans la chair, chez le bœuf[3]. Ce qui prouve directement que ces deux bases sont d'une très-grande importance, c'est qu'indépendamment des proportions que les matières alimentaires et les eaux potables peuvent en contenir, nous introduisons tous les jours dans l'économie, avec un avantage qui n'est plus contesté, des quantités bien plus grandes de l'une d'elles par l'emploi du sel marin. Quant à la potasse, elle entre dans les céréales en proportion beaucoup plus grande que la soude, ce

1. *Annuaire des eaux de la France.* Paris, 1852, t. Ier, p. 187.
2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* 11 octobre 1859.
3. Moleschott, *De l'alimentation et du régime*, trad. de l'allemand. Paris, V. Masson, 1858, p. 101.

qui explique pourquoi l'introduction du chlorure de potassium dans les aliments n'a pas été jugée nécessaire.

Les quantités de ces bases que l'on trouve dans les eaux potables varient de 1 à 50 milligr.; elles semblent plus fortes dans les puits que dans les cours d'eau en général. Ces proportions étant d'ailleurs insensibles relativement à celles de ces mêmes bases contenues dans les aliments ou introduites directement dans l'économie, j'admettrai qu'il est inutile de rechercher la potasse et la soude dans les eaux.

§ 4. Ammoniaque.

L'ammoniaque n'existe ni dans le sang ni dans les tissus de l'homme ou des animaux, ou si elle s'y trouve, ce n'est qu'accidentellement; elle paraît avoir été rencontrée dans les os à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, mais sa proportion est si faible, qu'on ne l'a pas dosée jusqu'à présent[1]. Son rôle, si elle pouvait en avoir un, serait analogue à celui des sels de potasse et de soude, c'est-à-dire qu'elle servirait à dissoudre les matières albumineuses.

Sa proportion dans les eaux potables est si minime, qu'elle ne paraît pas devoir exercer d'effets sensibles sur l'économie, immédiatement du moins. A la longue elle pourrait contribuer, sans doute, à former certains calculs de la vessie ou du rein[2]. Il est donc préférable que l'eau n'en renferme que le moins possible.

Les recherches de MM. Boussingault, Bineau, Barral et Marchand ont établi l'existence de l'ammoniaque dans les eaux de pluie, les eaux de rivières, de sources et de puits.

Je cite les nombres obtenus par M. Boussingault à l'aide d'une méthode d'une extrême sensibilité[3].

1. Pelouze et Fremy, t. VI, p. 282.
2. Et de l'intestin chez les animaux.
3. *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, par M. Boussingault. 2e édit. Paris, Mallet-Bachelier, 1861, t. II, p. 272.

La quantité d'ammoniaque est, en poids et en moyenne[1] :

Dans les eaux pluviales.	0.0000008
Dans les eaux de rivières	0.0000002
Dans les eaux de sources.	0.0000001

Pour les eaux de puits de diverses localités, les nombres ont varié de 0 milligr. à 34.30 milligr. par litre d'eau[2].

On a voulu déduire des proportions d'ammoniaque les proportions de matières animales qui peuvent exister en décomposition dans les eaux; mais il se présenterait dans le rapprochement qu'on ferait ainsi des causes d'erreur assez sérieuses.

L'ammoniaque qui se trouve dans les eaux potables peut provenir, en effet :

1° De celle qui entre dans les eaux de pluie;

2° De la décomposition des matières animales dans le voisinage des cours d'eau ou des puits, du mélange de l'ammoniaque produite avec l'air et de son absorption par l'eau;

3° De la formation spontanée du nitrite d'ammoniaque, d'après M. Schœnbein;

4° De l'existence des matières organiques azotées introduites dans les eaux accidentellement ou par infiltration, et de la décomposition plus ou moins facile de ces matières par suite de la température de l'eau.

On voit donc, qu'en induisant des proportions d'ammoniaque en dissolution dans les eaux, les quantités de matières azotées en décomposition qui peuvent y exister normalement, on s'exposerait à des mécomptes sérieux. J'ajoute qu'alors même que les eaux ne renfermeraient que des quantités négligeables d'ammoniaque provenant des trois premières causes, il ne serait pas permis de *mesurer* les matières azotées décomposées, par les proportions d'ammoniaque obtenues; car l'égalité de rapports qu'on établirait ainsi, supposerait l'identité dans les eaux

1. Même ouvrage, même tome, p. 202.
2. Même ouvrage, même tome, p. 196.

des matières organiques en décomposition; identité qui n'a pas été démontrée jusqu'à présent.

Sans doute, en opérant, comme l'a fait M. F. Boudet[1], sur l'eau de Seine prise presqu'au même instant dans divers points du courant, la détermination des matières organiques qu'on déduirait des analyses ammonimétriques laisserait moins à désirer. Mais s'il s'agissait d'étudier comparativement les eaux de rivière, de source et de puits, il semblerait peu logique de mesurer leur insalubrité par les proportions d'ammoniaque que chacune d'elles fournirait.

Toutefois il est permis d'admettre :

1° Que les eaux qui renferment le moins d'ammoniaque sont, lorsque les différences sont bien tranchées, celles qui renferment le moins de matières animales en décomposition et qu'il faut les préférer;

2° Que l'ordre dans lequel les eaux doivent être classées, à ce point de vue, est le suivant : 1° sources, 2° rivières, 3° puits.

Les eaux de pluie renferment tantôt plus, tantôt moins d'ammoniaque que les eaux de puits, et on ne peut déduire des nombres qu'elles fournissent aucune donnée sur le poids de matière animale qui peut y exister.

Il résulte de quelques observations de M. Bineau[2] que la proportion d'azote qui se trouve sous forme de composés organiques après l'essai ammonimétrique d'une pluie, tout en étant bien inférieure à celle de l'ammoniaque, peut varier entre le $^1/_3$ et le $^1/_8$ de celle-ci.

3° Que la détermination de l'ammoniaque dans les eaux ne devra pas détourner de la recherche directe des matières animales et végétales, et de leurs degrés d'altération.

---

1. *Annales de physique et de chimie*, 4e série, t. II, p. 238. *Rapport sur la salubrité de l'eau de Seine entre le pont d'Ivry et Saint-Ouen*, p. 250.

2. *Études chimiques sur les eaux potables et sur l'atmosphère*. Lyon, Savy, 1854, p. 98.

§ 5. Alumine, oxydes de fer et de manganèse.

L'alumine n'existe ni dans les os, ni dans les tissus, ni dans le sang, ni dans l'urine, mais exceptionnellement dans les calculs urinaires ferrugineux de l'homme[1]. Il importe donc que cette base ne fasse point partie de la composition des eaux, ou ne s'y trouve qu'en proportion très-minime. Les eaux en renferment de 1 à 21 milligr. par litre.

Le fer entrant dans la composition du suc gastrique (à l'état de chlorure), du liquide de la rate à l'état de phosphate, dans la matière colorante des globules du sang et surtout de la bile[2], il n'y a pas d'inconvénient à ce que les eaux en renferment. Le poids de sesquioxyde de fer trouvé dans les eaux varie de 1 à 6 milligr. dans les cours d'eau et dans les puits[3]. Cette proportion est d'ailleurs insignifiante relativement à celle qui existe moyennement dans les aliments, de sorte qu'il n'y a pas à s'en occuper. Le manganèse se rencontre associé au fer dans la bile; il n'en existe que rarement dans les eaux et en quantité à peine appréciable. On peut donc le négliger.

Pour me résumer, je dirai : 1° qu'on doit préférer les eaux qui renferment le moins d'alumine; 2° qu'il n'y a pas à se préoccuper, en général, du fer et du manganèse qui peuvent exister dans les eaux potables.

ACIDES[4].

§ 6. Acide sulfurique.

L'acide sulfurique n'existe dans le corps humain qu'en proportion minime. D'après Lehmann[5] 1,000 parties de globules du sang en renferment 0.066 et 1,000 parties de sérum 0.115.

1. Pelouze et Fremy, *Traité de chimie générale*. 2e édit., t. VI, p. 193.
2. Lehmann, *Précis de chimie physiologique*, trad. par Ch. Drion, p. 107.
3. *Complém. du Dictionnaire des arts et manufactures*, art. Eaux, p. 174.
4. Les acides, dont il sera parlé, sont tous à l'état salin dans le sang, dans les tissus ou dans les eaux; je fais cette mention une fois pour toutes. L'acide carbonique et la silice pourront, en outre, s'y trouver à l'état libre.
5. *Précis de chimie physiologique animale*, trad. par Ch. Drion. Paris, Victor Masson, 1855, p. 115.

Les os de l'homme, à l'état sain, ne paraissent pas en contenir. Les os du fémur d'un cerf analysés par Marchand[1] offraient plus de 12 p. 100 de sulfate de chaux. Les os de quelques poissons en présentaient de 1 à 2 p. 100.

Mais ce qui est fort remarquable et ce que les médecins hygiénistes ne doivent pas perdre de vue, c'est que l'acide sulfurique entre en proportion notable dans les vertèbres des rachitiques, et cependant le lait de femme et celui de vache n'en renferment point en général[2]. Les nombres donnés par les analyses des os des rachitiques s'accordent sous ce rapport, et donnent des proportions de sulfate de chaux et de sulfate de soude qui peuvent s'élever à 4.70 pour 100.

D'après M. de Bibra[3] la chair musculaire renferme une très-faible proportion d'acide sulfurique. Mais par contre, comme on pouvait s'y attendre, l'urine en renferme des proportions assez fortes, d'après l'analyse de Lehmann[4]. Je tire de ces faits cette conséquence, que l'acide sulfurique ne paraît se trouver qu'accidentellement dans l'économie de l'homme, que son introduction dans le corps *peut être* l'une des causes du rachitisme pendant la période d'accroissement[5] et que lorsque le développement est complet, le rein doit l'éliminer. — Il importe donc que les eaux ne renferment point de sulfates, ou n'en renferment que des quantités minimes. Quant à l'acide sulfurique libre, il ne se rencontre qu'exceptionnellement dans les eaux, et il est inutile d'en parler.

---

1. Pelouze et Fremy, ouvrage cité, t. VI, p. 272.

2. A ce point de vue, dans la période d'accroissement et surtout au début de cette période, il importerait de s'abstenir d'eaux qui renfermeraient de l'acide sulfurique et par conséquent des sulfates.

3. Pelouze et Frémy, t. VI, p. 255.

4. Pelouze et Fremy, t. VI, p. 176-182.

5. Il serait intéressant de voir si, exceptionnellement, le lait des femmes qui nourrissent des enfants rachitiques ne renferme point de sulfate de chaux. (Le rachitisme se développe le plus ordinairement depuis l'âge de 6 à 8 mois jusqu'à 12 ou 14 ans.)

Les sulfates ont encore cet inconvénient sérieux, c'est que l'eau renfermée dans des vases en bois, ou dans laquelle des matières organiques peuvent tomber, présente, en été surtout, par suite de la décomposition des sulfates, des sulfures ou de l'acide sulfhydrique qui rendent l'eau non-seulement repoussante, mais nuisible. — Quant à l'opinion que certains hygiénistes, et particulièrement M. Bouchardat, avaient eue que la proportion plus ou moins grande de sulfate de chaux qui existait dans les eaux pouvait n'être pas étrangère à la production du goître et du crétinisme, elle pouvait être réfutée par des arguments sérieux. — Dans les vallées des Vosges où l'on trouve encore des goîtreux et des crétins, l'eau ne renferme que des traces de sulfates et d'ailleurs le nombre des goîtreux y a diminué d'une manière fort notable, alors que, selon toute probabilité, l'eau n'y a pas varié de composition depuis l'époque où cette diminution a commencé. Il est inutile d'insister plus longuement sur ce point, car M. Bouchardat lui-même a reconnu qu'il s'était trompé sur l'influence que le sulfate de chaux et le sulfate de magnésie pouvaient avoir dans le développement du goître.

L'acide sulfurique varie par litre dans les diverses eaux courantes de 1 à 125 milligr. et peut s'élever dans les puits à 800 milligr.

Voici d'ailleurs le tableau de son poids dans diverses eaux[1]:

	Acide sulf. par litre. Grammes.
Eau du château d'eau de Reims (18 juin 1849)	0.001
— de la Vilaine à Redon (18 août 1846)	0.002

1. J'emprunte quelques nombres au tableau publié par M. Hervé Mangon dans le *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*, p. 174, et j'en ajoute quelques autres calculés d'après les tableaux que je trouve pages 199-204 du tome Ier de la 2e édition du *Traité de chimie générale*, de MM. Pelouze et Fremy, et pour les environs de Strasbourg d'après les tableaux pages 44, 98, 101 de l'*Hydrographie médicale de Strasbourg*.

	Grammes.
Eau du Doubs à Besançon au pont Rivotte (17 janv. 1845)	0.003
— de la Loire à Nantes, vis-à-vis le château (7 juill. 1846)	0.004
— du Rhône à Lyon (juill. 1835)	0.004
— du Rhin, près Strasbourg (mai 1846)	0.014
— du Rhône à Lyon (2 mars 1839)	0.018
— de la Seine à Bercy	0.018
Fontaine de la place d'Armes à La Rochelle	0.021
Eau du Rhône à Genève, près des pompes (30 avril 1846)	0.026
Sources à Combes-la-Ville (Seine-et-Marne)	0.079
Seine — Pont d'Ivry[1]	0.016
Seine — Pont Notre-Dame	0.033
Seine — Pompe du Gros-Caillou	0.041
Seine — Pompe de Chaillot	0.044
Eau d'Arcueil prise au château d'eau de l'Observatoire	0.126
— du puits de Grenelle. Analyse de M. Payen (1841)	0.0055
— du puits de Grenelle. Analyse de MM. Boutron et Henry (1845)	0.016
— du canal de l'Ourcq à la gare circulaire de la Villette	0.107
— de la Loire au pont de Mehung (au moment d'une forte crue)	0.002
— de la Garonne	0.0064
— du Rhône	0.019
— du Rhin prise à Bâle	0.0126
— de l'Escaut	0.005
— de la Tamise	0.045
— d'un puits de Paris (porte caserne, n° 6, avenue de la porte Maillot)	0.7765

On remarquera sans doute que l'eau de la Loire, qui est considérée comme une eau de très-bonne qualité, présente, dans la deuxième moitié de ce tableau, le minimum d'acide sulfurique, 2 milligr., tandis que l'eau d'Arcueil, que l'on reconnaît être une eau très-médiocre, nous donne 126 milligr., et même un puits de Paris l'énorme proportion de 776 milligr. d'acide sulfurique par litre d'eau.

1. J'ai pris comme coefficients de multiplication suffisamment exacts pour obtenir le poids d'acide sulfurique, $^{10}/_{17}$ pour le sulfate de chaux, $^{5}/_{11}$ pour le sulfate de potasse, $^{5}/_{8}$ pour le sulfate de soude, $^{3}/_{8}$ pour le sulfate de magnésie, $^{5}/_{8}$ pour les sulfates de soude et de magnésie réunis, et $^{5}/_{8}$ pour les sulfates de potasse et de soude réunis.

Eaux de Strasbourg et des environs.

	Grammes.
Bruche, près Strasbourg (30 mai 1861)	0.008
Bruche, près Strasbourg (19 août)	0.009
Ill en amont (30 mai)	0.016
Ill en amont (19 août)	0.014
Ill aux Ponts-Couverts (30 mai)	0.033
Ill aux Ponts-Couverts (19 août)	0.014
Grand-Rhin (pont de Kehl, 17 août)	0.016
Petit-Rhin (2 juin)	0.0405
Petit-Rhin (28 juin)	0.016
Petit-Rhin (17 août)	0.016
Rhin-Tortu (juin)	0.020
Rhin-Tortu (21 août)	0.016
Canal du Rhône au Rhin (juin)	0.028
Canal du Rhône au Rhin (21 août)	0.016
Zorn à Brumath (16 août)	0.0225
Moder à Bischwiller (17 août)	0.0124
Souffel à Souffelweyersheim (25 août)	0.074

Les puits de Strasbourg renferment des quantités d'acide sulfurique qui varient de 6 à 135 milligr. par litre d'eau.

Je tire des considérations qui précèdent la conclusion suivante: Les eaux qui renferment le moins d'acide sulfurique, doivent être préférées, à toutes les époques de la vie de l'homme, mais surtout pendant la période d'accroissement.

§ 7. Acide azotique.

L'acide azotique ne fait partie ni du tissu osseux ni des autres tissus organiques, on le trouve exceptionnellement dans quelques calculs humains. Introduit dans l'économie, il doit donc en être éliminé.

Il importe, en conséquence, qu'il ne s'en trouve point dans les eaux potables. Les eaux n'en renferment souvent, il est vrai, que des quantités si faibles que parfois on se dispense de les doser. Il semble dès lors qu'il n'y ait pas à s'inquiéter de la présence de cet acide dans les eaux. Mais il faut remar-

quer que les eaux des puits des villes et des villages en renferment des quantités très-appréciables, et M. Boussingault, dans un grand travail consacré à la recherche des nitrates dans les eaux, s'exprime ainsi sur cette question[1] : « La forte « proportion de nitrates trouvée dans l'eau des puits de la ca- « pitale est évidemment due aux modifications que subissent « les matières organiques dont le sol est constamment impré- « gné. La pureté de l'air et de l'eau, dont les effets se mani- « festent avec une si grande énergie sur la santé publique, « doit en être profondément affectée. J'ai montré, à une autre « époque, que la pluie, après avoir balayé, en la traversant, « l'atmosphère d'une grande cité, tient en dissolution ou en « suspension beaucoup plus d'ammoniaque, beaucoup plus de « principes organiques putrescibles que lorsqu'elle tombe au « loin dans la campagne; aujourd'hui je rappelle que l'eau de « puits, après s'être infiltrée à travers un terrain comparable « à une nitrière, est souillée de substances évidemment nuisi- « bles : tant il est vrai qu'une population condensée porte tou- « jours en soi les germes de l'insalubrité. » Et dans une note où le savant chimiste montre que le pain fabriqué à Paris avec l'eau des puits peut renfermer de 14 centigr. à 1 gr. de nitrate de potasse par kilogramme, il ajoute :

« A ces faibles doses, il est douteux que les nitrates soient « malfaisants, mais ce que leur présence dans le pain a de fâ- « cheux, c'est qu'elle est l'indice des matières organiques pro- « venant évidemment de sources suspectes, des eaux ména- « gères, par exemple, ou des infiltrations que laisseraient suinter « les 60,000 fosses d'aisances établies en contre-bas du sol. « Qu'on n'oublie pas d'ailleurs que, chaque année, les crues « de la Seine, les inondations souterraines, mettent en com- « munication les assises inférieures du terrain avec les assises

1. Boussingault, *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie.* Paris, Mallet-Bachelier, 1861, t. II, p. 65.

« supérieures, là où sont les réceptacles d'immondices, et que « les eaux, en lavant le sol, charrient, avec ce qu'elles entraî- « nent, des sporules de cette végétation cryptogamique, de ces « moisissures toujours nuisibles et d'autant plus à craindre, que « leur organisme, si frêle, en apparence, résiste néanmoins à « la température que supporte le pain pendant la cuisson, « comme l'a reconnu M. Payen, et plus récemment M. Poggiale. »

J'emprunte à M. Boussingault le tableau qu'il a dressé des poids d'acide nitrique contenus dans un grand nombre d'eaux[1].

Lacs et étangs.

Dates des prises.	Désignation.	Acide nitrique par litre d'eau. Grammes.
1856. 24 août.	Étang de Soultzbach	0.0003
— 22 oct.	Lac de Stern au-dessus de la vallée de Massevaux	0.0001
— 23 oct.	— de Seven, vallée de Massevaux (Haut-Rhin)	0.0008
1857. 7 nov.	— — —	0.0008
— 6 nov.	— du Ballon d'Alsace, près Guebwiller (Haut-Rhin)	0.0002

Fleuves et rivières.

1857. 24 oct.	Soultzbach (Bas-Rhin)	0.0006
— 27 oct.	La Seltz à Merckwiller	0.0027
— 12 nov.	Ill à Mulhouse	0.0016
1856. 18 août.	Rhin à Lauterbourg	0.0011
— 21 oct.	Rhin, canal d'Huningue	0.0008
1858. 31 juill.	Rhin à Kehl	0.0010
— 11 nov.	Rhin à Bâle	0.0010
1856. 29 août.	Moder à Haguenau	0.0012
1857. 27 oct.	— —	0.0017
1856. 14 sept.	Sauer à la Kühbrücke	0.0004
1857. 21 oct.	— —	0.0003
1856. 30 sept.	Lauter à Wissembourg	0.0009
— 11 nov.	Loing à Montargis (Loiret)	0.0036
— 4 oct.	La Vesle à Reims (Marne)	0.0064
— 29 nov.	Seine au pont Notre-Dame	0.0040
— 9 déc.	— —	0.0045
— 19 déc.	— —	0.0048

1. *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie.* Paris, 1861, t. II, p. 72.

			Grammes.
1856.	29 déc.	Seine au pont Notre-Dame	0.0066
1857.	8 janv.	— —	0.0058
—	18 janv.	— —	0.0042
—	30 janv.	— —	0.0037
—	7 fév.	— —	0.0086
—	17 fév.	— —	0.0059
—	13 déc.	— —	0.0063
1858.	21 janv.	— —	0.0075
1857.	14 déc.	Marne à Charenton	0.0055
1856.	1er déc.	Ourcq au-dessus du bassin de la Villette	0.0113
1857.	11 fév.	— —	0.0084
—	14 déc.	— —	0.0061
1856.	1er déc.	Bièvre au pont aux Tripes	0.0005
1857.	1er mars.	Gave à Pau	0.0013
—	1er mars.	Cascades de Tramesaigues (Pyrénées)	0.0004
—	14 mars.	Confluent du Ondenou, Cotatay, Vachery (Loire)	0.0026
—	14 mars.	Furens à la gorge de la Roche-Taillée (Loire)	0.0025
—	5 mars.	Vachery (Loire)	0.0028
—	21 oct.	Torrent, près des Lagonis (Sicile)	0.0072

Sources.

1856.	18 sept.	Source du Liebfrauenberg (Bas-Rhin)	0.0002
1857.	23 oct.	— —	0.0004
1856.	15 août.	— de l'Ebersbronn (Bas-Rhin)	0.0151
1857.	13 août.	— —	0.0211
—	28 oct.	— —	0.0155
—	23 oct.	— de la Seltz (Bas-Rhin)	0.0003
—	11 sept.	— du château de Fleckenstein (Bas-Rhin)	Traces.
—	24 sept.	— alimentant Wœrth-sur-Sauer (Bas-Rhin)	0.0100
—	22 oct.	— minérale de Bussang (Vosges)	0.0001
—	27 oct.	— de l'Ill, près Winckel (Haut-Rhin)	0.0040
—	27 oct.	— alimentant Ferrette (Haut-Rhin)	0.0015
—	28 oct.	— près de Durmenach (Haut-Rhin)	0.0044
—	28 oct.	— de Roppentzwiller (Haut-Rhin)	0.0065
—	15 déc.	— du But à Montmartre	0.3303
—	19 janv.	— d'Arcueil prise à l'Observatoire	0.0500
—	5 mars.	— du Martinet. Usines Fourneyron (Loiret)	0.0215
—	5 mars.	— des Trois-Meules à Saint-Étienne (Loiret)	0.0081
—	6 juin.	— de Nîmes	0.0050

			Grammes.
1857.	7 nov.	Source alimentant Thann (Haut-Rhin)	0.0004
—	7 nov.	— du Bœlacker, près Saint-Amarin (Haut-Rhin)	0.0007
1859.	5 sept.	— thermale de Baden	0.0006
1857.	31 mars.	Puits artésien de Grenelle	0.0003
—	14 déc.	—	0.0002
1858.	5 nov.	Source thermale de Dax	0.0005
1859.		Source de la Presle (Pyrénées-Orientales)	0.0005

Puits de Paris.

Dates des prises.		Localités.	Équivalents en nitr. de potasse par litre d'eau. Grammes.	Ac. nitrique par litre d'eau. Grammes.
1856.	24 nov.	Rue du Pas-de-la-Mule, 6	0.6071	0.3242
—	4 déc.	—	0.7010	0.3743
—	14 déc.	—	0.5842	0.3019
—	17 déc.	—	0.9278	0.4954
—	24 déc.	—	0.6701	0.3578
—	24 nov.	Rue Saint-Martin, 294	0.2232	0.1192
—	24 nov.	Rue Saint-Georges, 56	0.2380	0.1271
—	26 nov.	Place Maubert, 22	0.2728	0.1457
—	Nov.	Rue des Noyers, 70	1.5000	0.8010
—	28 nov.	Rue du Parc-Royal, 5	0.6920	0.3695
—	Nov.	Rue des Vieilles-Étuves, 8	0.4743	0.2533
—	29 nov.	Rue Simon-le-Franc, 9	0.5089	0.2717
—	1er déc.	Faubourg Saint-Honoré, 66	0.6701	0.3578
—	Déc.	Rue de Sèvres, 10	0.4742	0.2532
—	Déc.	Rue des Vinaigriers, 55	0.3093	0.1652
—	30 nov.	Grande-Rue, 72	1.2371	0.6506
—	1er déc.	Rue Saint-Landry, 16	2.0928	1.1175
—	Déc.	Rue Saint-Louis en l'Ile, 54	0.7319	0.3908
—	1er déc.	Rue des Petites-Écuries, 51	0.2577	0.1476
—	4 déc.	Rue de Reuilly	0.4638	0.2477
—	13 déc.	Passage d'Isly, 7 (Belleville)	0.2955	0.1578
—	Déc.	Rue de la Mare, 66 (Belleville)	1.2680	0.6771
—	Déc.	Rue Levert, 14 (Belleville)	1.5464	0.8257
—	17 déc.	Rue de la Boulangerie	0.2689	0.1436
—	26 déc.	Rue Traversière, 36	2.1649	1.1561
—	26 déc.	Impasse Sainte-Marine, 5	0.5155	0.2753
—	27 déc.	Rue Guérin-Boisseau, 13	0.2062	0.1101
—	28 déc.	Place Royale, 16	0.5155	0.2753
—	31 déc.	Rue de Glatigny, 5	0.7966	0.4254

		Grammes.	Grammes.
1857.	3 janv. Rue du Fouarre, 14	1.0309	0.5505
—	22 janv. Rue Mouffetard, 132	0.2165	0.1156
—	19 janv. Rue Saint-Landry, 16	2.2165	1.1836
—	25 janv. Place Royale	0.4124	0.2202
—	23 janv. Cimetière Montmartre	1.5258	0.8148
—	23 janv. Cimetière Mont-Parnasse	0.1546	0.0825

J'ai jugé à propos de joindre à ce tableau les résultats obtenus par MM. Lévy et Roger pour un certain nombre de puits de Strasbourg.

		Grammes.
Ancien puits de la pharmacie de l'Hôpital militaire[1]	Azotate d'ammoniaque	0.0061
Puits de la cuisine de l'Hôpital militaire	Azotate de soude	0.0027
	Azotate de potasse	0.0043
Puits de la cour des écuries de la caserne d'Austerlitz	Azotate de potasse	0.0035
	Azotate de soude	0.0064
Puits de la rue du Dôme, 14	Azotate de potasse	0.0208
	Azotate de soude	0.0543
	Azotate d'ammoniaque	0.0400
Puits de la Citadelle	Azotate de potasse	0.0080
	Azotate de soude	0.0219
	Azotate d'ammoniaque	0.0080
Puits de la caserne Saint-Nicolas	Azotate d'ammoniaque	0.0200
Puits de la Manutention des vivres	Azotate de potasse	0.0160
	Azotate de soude	0.0219
	Azotate d'ammoniaque	0.0041
Puits de la caserne des pontonniers	Azotate de potasse	0.0107
	Azotate de soude	0.0173
	Azotate d'ammoniaque	0.0015
Puits de la caserne Finckmatt	Azotate de potasse	0.0643
	Azotate de soude	0.0269
	Azotate d'ammoniaque	0.0030
Puits de la caserne du faubourg de Saverne	Azotate de potasse	0.0182
	Azotate de soude	0.0456
	Azotate d'ammoniaque	0.0030
Puits de la caserne des Ponts-Couverts	Azotate de chaux	0.0676
	Azotate d'ammoniaque	0.0052

1. *Analyse des eaux de Strasbourg et de Phalsbourg*. Paris, Noblet, 1858, 1 br. in-8°.

En comparant les chiffres de ces divers tableaux, on en tirera les résultats suivants :

Pour les eaux analysées, les lacs et les étangs se placent au premier rang par leur faible proportion d'acide azotique, qui n'atteint pas 1 milligr. par litre ; les fleuves, les rivières et les sources présentent des variations assez étendues, de 0.2 à 22 milligr., en exceptant la source d'Arcueil, qui donne 50 milligr., et celle du But à Montmartre, qui fournit 330 milligr. ; les puits de Paris ont offert les proportions les plus fortes, de 82.5 à 825.7 milligr.

Comme l'acide azotique ne fait pas partie de nos tissus, et comme il doit être éliminé du corps, s'il y est introduit ; comme d'ailleurs il paraît résulter, pour la plus grande part, quand il est en proportion un peu grande dans les eaux, de la transformation des matières organiques azotées qui s'y trouvent et que, sans pouvoir leur servir de mesure, il permet néanmoins d'apprécier les différences des eaux au point de vue de ces matières, nous conclurons : 1° que les eaux qui renferment le moins d'acide azotique doivent être préférées ; 2° qu'en général les lacs, les sources et les cours d'eau valent mieux que les puits, sous ce rapport ; 3° que les eaux des puits de Paris, qui entrent fréquemment encore dans l'alimentation, doivent être complétement abandonnées comme eaux potables ; 4° qu'on pourra se dispenser, en général, de rechercher l'acide azotique dans les eaux, quand on possédera une méthode certaine pour l'appréciation des matières organiques qui peuvent y exister.

§ 8. Acide chlorhydrique.

L'acide chlorhydrique libre ou combiné est un des acides les plus importants pour l'économie animale. — Libre, il ne se trouve que dans le suc gastrique, et combiné à la soude, il se trouve dans tous les liquides et la plupart des tissus de l'organisme ; associé à l'acide lactique, à la pepsine et aux chlorures, il dissout les substances albuminoïdes et les tissus don-

nant de la gélatine et les transforme en produits liquides aisément absorbables[1]. « Le chlorure de sodium se trouve dans « toutes les parties solides ou liquides du corps; le sel, chose « importante à noter, forme toujours la portion la plus con- « sidérable de la partie soluble des cendres des liquides de « l'organisme; dans la plupart de ces liquides, notamment dans « le sang, les proportions du chlorure de sodium sont à peu « près constantes et indépendantes de la quantité de sel marin, « ingérée par les aliments. La distribution de ce sel dans l'éco- « nomie n'est pas fortuite; tandis qu'il s'élève à un chiffre élevé « dans le chyle, la lymphe, l'albumine des œufs et en général « dans tous les liquides alcalins, on n'en trouve, au contraire, « que des traces dans les globules du sang, le liquide muscu- « laire, le thymus, le jaune d'œuf. — La quantité de chlorure « de sodium renfermée dans le sérum du sang est jusqu'à un « certain point en raison inverse de la quantité d'albumine « contenue dans ce liquide; moins il y a d'albumine, plus on « y trouve de chlorure de sodium.

« La proportion de ce sel s'accroît encore davantage dans les « sécrétions. Elle est surtout notable (elle s'élève à 10 ou 12 « p. 100 du poids des principes solides) dans la salive, le suc gas- « trique, le mucus, le pus, les exsudations inflammatoires[2]. »

Une conséquence importante à tirer de ces observations de Lehmann, c'est que si le chlorure de sodium n'avait pas de rôle à jouer dans les sécrétions, s'il pénétrait dans les tissus et dans les glandes par un simple fait d'imbibition, sa proportion dans le sang et dans les liquides sécrétés varierait avec les proportions de sel contenues dans les aliments. Le chlorure de sodium est donc nécessaire à l'économie. L'usage qui s'en fait, d'ailleurs, et qu'une expérience prolongée a fait reconnaître utile, ne permet aucun doute à cet égard.

L'acide chlorhydrique est quelquefois uni en proportion as-

1. Lehmann, *Précis de chimie physiologique*, p. 189.
2. Même ouvrage, p. 105.

sez faible à l'ammoniaque, à la chaux ou à la magnésie, et ces combinaisons paraissent avoir une action analogue à celle du chlorure de sodium.

Le rôle de l'acide chlorhydrique me paraît double dans l'économie; libre ou combiné, il agit directement comme dissolvant dans le suc gastrique, et d'autre part il favorise la solubilité de certaines bases et facilite ainsi leur introduction dans les tissus. Sa proportion dans les eaux est toujours faible, si on la compare à celle que nous introduisons dans le corps avec les aliments, et à l'exception de quelques sources volcaniques comme celle du Rio Vinagre signalée par M. Boussingault, il n'y existe jamais qu'à l'état salin.

En exceptant l'eau des mers et les eaux minérales, la proportion d'acide chlorhydrique varie dans les eaux de 0 à 50 milligr. par litre.

Nous conclurons de ce qui précède: 1° que dans les eaux douces, en général, l'acide chlorhydrique entre, à l'état salin, en proportion bien inférieure à celle qui répond à notre consommation; 2° que pour ce motif même, il est inutile de le rechercher dans les eaux.

§ 9. Acide phosphorique.

L'acide phosphorique entre dans la composition des os, dans celle des muscles et dans presque tous les liquides organiques, combiné à la chaux et à la magnésie, ou aux bases alcalines. Si le phosphate de chaux remplit dans les os un rôle mécanique important, il paraît, ainsi que les autres phosphates, contribuer, dans les liquides organiques, à la formation des cellules, et, à ce point de vue, l'acide phosphorique doit être considéré, à une époque quelconque de la vie de l'homme, comme utile au développement ou à la nutrition.

Il entre en forte proportion dans le lait, dans les céréales, dans la chair musculaire, en proportion plus faible dans la pomme de terre; on le rencontre rarement dans les eaux, et

quer que les eaux des puits des villes et des villages en renferment des quantités très-appréciables, et M. Boussingault, dans un grand travail consacré à la recherche des nitrates dans les eaux, s'exprime ainsi sur cette question[1] : « La forte « proportion de nitrates trouvée dans l'eau des puits de la ca- « pitale est évidemment due aux modifications que subissent « les matières organiques dont le sol est constamment impré- « gné. La pureté de l'air et de l'eau, dont les effets se mani- « festent avec une si grande énergie sur la santé publique, « doit en être profondément affectée. J'ai montré, à une autre « époque, que la pluie, après avoir balayé, en la traversant, « l'atmosphère d'une grande cité, tient en dissolution ou en « suspension beaucoup plus d'ammoniaque, beaucoup plus de « principes organiques putrescibles que lorsqu'elle tombe au « loin dans la campagne; aujourd'hui je rappelle que l'eau de « puits, après s'être infiltrée à travers un terrain comparable « à une nitrière, est souillée de substances évidemment nuisi- « bles : tant il est vrai qu'une population condensée porte tou- « jours en soi les germes de l'insalubrité. » Et dans une note où le savant chimiste montre que le pain fabriqué à Paris avec l'eau des puits peut renfermer de 14 centigr. à 1 gr. de nitrate de potasse par kilogramme, il ajoute :

« A ces faibles doses, il est douteux que les nitrates soient « malfaisants, mais ce que leur présence dans le pain a de fâ- « cheux, c'est qu'elle est l'indice des matières organiques pro- « venant évidemment de sources suspectes, des eaux ména- « gères, par exemple, ou des infiltrations que laisseraient suinter « les 60,000 fosses d'aisances établies en contre-bas du sol. « Qu'on n'oublie pas d'ailleurs que, chaque année, les crues « de la Seine, les inondations souterraines, mettent en com- « munication les assises inférieures du terrain avec les assises

1. Boussingault, *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie.* Paris, Mallet-Bachelier, 1861, t. II, p. 65.

en stimulant cet organe et le canal intestinal; en provoquant la sécrétion du suc gastrique, en dissolvant certaines bases qui ont de l'action sur les substances albuminoïdes. On peut ajouter qu'il doit contribuer à donner quelque sapidité à l'eau.

Les présomptions qui précèdent ne sont pas, sans doute, des preuves; mais on sait que les eaux gazeuses artificielles favorisent parfois les digestions laborieuses, et on est porté, par une induction très-légitime, à admettre que quand l'acide carbonique entre dans les eaux potables, dans la proportion ordinaire de 20 à 30 centim. cubes par litre, il n'est pas inutile à la digestion.

Toutefois, dans ces questions, la meilleure preuve est toujours l'observation des faits ou l'expérimentation.

Or, dans quelques essais de consommation d'eau non aérée, dont il sera question plus loin, il m'a semblé que l'introduction dans cette eau de 30 à 40 centim. cubes d'acide carbonique lui rendait une propriété qu'elle avait perdue en partie, la faculté de se digérer.

Je suis donc partisan de la présence de l'acide carbonique dans l'eau; je pense qu'elle est utile.

Est-elle indispensable? Certains faits sembleraient prouver le contraire. Ainsi, dans les vallées des Alpes, en admettant, avec de Saussure, que les montagnards ne boivent que de l'eau des glaciers et ne s'en portent pas plus mal, comme, selon toute apparence, cette eau doit être très-peu chargée d'acide carbonique, si on s'en rapporte à l'analyse, faite par M. Boussingault, de l'air contenu dans l'eau de neige, et à la mienne, pour l'eau provenant de la fusion de la glace[1], il semblera logique que l'acide carbonique n'est pas nécessaire à l'eau dans ce cas. On me dira sans doute que la durée de l'exposition de l'eau des glaciers à l'air augmentant, la proportion d'acide carbonique y augmentera. Je l'accorde; mais elle y croîtra

1. Voir ces analyses dans le chapitre III.

En comparant les chiffres de ces divers tableaux, on en tirera les résultats suivants :

Pour les eaux analysées, les lacs et les étangs se placent au premier rang par leur faible proportion d'acide azotique, qui n'atteint pas 1 milligr. par litre ; les fleuves, les rivières et les sources présentent des variations assez étendues, de 0.2 à 22 milligr., en exceptant la source d'Arcueil, qui donne 50 milligr., et celle du But à Montmartre, qui fournit 330 milligr. ; les puits de Paris ont offert les proportions les plus fortes, de 82.5 à 825.7 milligr.

Comme l'acide azotique ne fait pas partie de nos tissus, et comme il doit être éliminé du corps, s'il y est introduit ; comme d'ailleurs il paraît résulter, pour la plus grande part, quand il est en proportion un peu grande dans les eaux, de la transformation des matières organiques azotées qui s'y trouvent et que, sans pouvoir leur servir de mesure, il permet néanmoins d'apprécier les différences des eaux au point de vue de ces matières, nous conclurons : 1° que les eaux qui renferment le moins d'acide azotique doivent être préférées ; 2° qu'en général les lacs, les sources et les cours d'eau valent mieux que les puits, sous ce rapport ; 3° que les eaux des puits de Paris, qui entrent fréquemment encore dans l'alimentation, doivent être complétement abandonnées comme eaux potables ; 4° qu'on pourra se dispenser, en général, de rechercher l'acide azotique dans les eaux, quand on possédera une méthode certaine pour l'appréciation des matières organiques qui peuvent y exister.

§ 8. Acide chlorhydrique.

L'acide chlorhydrique libre ou combiné est un des acides les plus importants pour l'économie animale. — Libre, il ne se trouve que dans le suc gastrique, et combiné à la soude, il se trouve dans tous les liquides et la plupart des tissus de l'organisme ; associé à l'acide lactique, à la pepsine et aux chlorures, il dissout les substances albuminoïdes et les tissus don-

nant de la gélatine et les transforme en produits liquides aisément absorbables[1]. « Le chlorure de sodium se trouve dans « toutes les parties solides ou liquides du corps; le sel, chose « importante à noter, forme toujours la portion la plus con- « sidérable de la partie soluble des cendres des liquides de « l'organisme; dans la plupart de ces liquides, notamment dans « le sang, les proportions du chlorure de sodium sont à peu « près constantes et indépendantes de la quantité de sel marin, « ingérée par les aliments. La distribution de ce sel dans l'éco- « nomie n'est pas fortuite; tandis qu'il s'élève à un chiffre élevé « dans le chyle, la lymphe, l'albumine des œufs et en général « dans tous les liquides alcalins, on n'en trouve, au contraire, « que des traces dans les globules du sang, le liquide muscu- « laire, le thymus, le jaune d'œuf. — La quantité de chlorure « de sodium renfermée dans le sérum du sang est jusqu'à un « certain point en raison inverse de la quantité d'albumine « contenue dans ce liquide; moins il y a d'albumine, plus on « y trouve de chlorure de sodium.

« La proportion de ce sel s'accroît encore davantage dans les « sécrétions. Elle est surtout notable (elle s'élève à 10 ou 12 « p. 100 du poids des principes solides) dans la salive, le suc gas- « trique, le mucus, le pus, les exsudations inflammatoires[2]. »

Une conséquence importante à tirer de ces observations de Lehmann, c'est que si le chlorure de sodium n'avait pas de rôle à jouer dans les sécrétions, s'il pénétrait dans les tissus et dans les glandes par un simple fait d'imbibition, sa proportion dans le sang et dans les liquides sécrétés varierait avec les proportions de sel contenues dans les aliments. Le chlorure de sodium est donc nécessaire à l'économie. L'usage qui s'en fait, d'ailleurs, et qu'une expérience prolongée a fait reconnaître utile, ne permet aucun doute à cet égard.

L'acide chlorhydrique est quelquefois uni en proportion as-

1. Lehmann, *Précis de chimie physiologique*, p. 189.
2. Même ouvrage, p. 105.

sez faible à l'ammoniaque, à la chaux ou à la magnésie, et ces combinaisons paraissent avoir une action analogue à celle du chlorure de sodium.

Le rôle de l'acide chlorhydrique me paraît double dans l'économie; libre ou combiné, il agit directement comme dissolvant dans le suc gastrique, et d'autre part il favorise la solubilité de certaines bases et facilite ainsi leur introduction dans les tissus. Sa proportion dans les eaux est toujours faible, si on la compare à celle que nous introduisons dans le corps avec les aliments, et à l'exception de quelques sources volcaniques comme celle du Rio Vinagre signalée par M. Boussingault, il n'y existe jamais qu'à l'état salin.

En exceptant l'eau des mers et les eaux minérales, la proportion d'acide chlorhydrique varie dans les eaux de 0 à 50 milligr. par litre.

Nous conclurons de ce qui précède: 1° que dans les eaux douces, en général, l'acide chlorhydrique entre, à l'état salin, en proportion bien inférieure à celle qui répond à notre consommation; 2° que pour ce motif même, il est inutile de le rechercher dans les eaux.

§ 9. Acide phosphorique.

L'acide phosphorique entre dans la composition des os, dans celle des muscles et dans presque tous les liquides organiques, combiné à la chaux et à la magnésie, ou aux bases alcalines. Si le phosphate de chaux remplit dans les os un rôle mécanique important, il paraît, ainsi que les autres phosphates, contribuer, dans les liquides organiques, à la formation des cellules, et, à ce point de vue, l'acide phosphorique doit être considéré, à une époque quelconque de la vie de l'homme, comme utile au développement ou à la nutrition.

Il entre en forte proportion dans le lait, dans les céréales, dans la chair musculaire, en proportion plus faible dans la pomme de terre; on le rencontre rarement dans les eaux, et

en proportion bien plus faible que dans les matières alimentaires. On peut donc dire, en remarquant qu'il en entre une proportion notable dans les urines (ce qui indique, qu'à l'exception peut-être du cas de grossesse, chez la femme, la proportion fournie à l'économie par les matières alimentaires est plus grande que celle qui est nécessaire à la nutrition), 1° que nous trouvons dans les matières alimentaires ordinaires une proportion d'acide phosphorique suffisante pour nos besoins; 2° que les eaux potables n'en renferment point ou n'en contiennent que des quantités négligeables, comparativement à celle contenue dans les aliments; qu'il n'y a donc pas à rechercher cet acide dans les eaux, ni à s'en préoccuper[1].

§ 10. Acide carbonique.

L'acide carbonique entre, comme on le sait, à l'état de carbonate de chaux dans les os, n'existe point, en général, dans les cendres de la chair musculaire, mais en proportion très-forte dans le sang[2].

La respiration a, comme double fonction, l'introduction de l'oxygène dans le sang artériel et l'exhalation d'une partie de l'acide carbonique du sang veineux.

La production incessante de cet acide dans l'économie animale semblerait rendre inutile son introduction dans l'estomac, soit à l'état libre, soit à l'état de carbonates, d'autant plus que ce qui en pénètre par les matières alimentaires ou par les eaux potables est insignifiant relativement à ce qui s'en forme incessamment dans l'économie[3].

Mais sa présence dans l'estomac peut favoriser la digestion

1. Le phosphate de chaux n'entrant dans les os des rachitiques que pour le quart de la proportion normale, il serait intéressant de voir si le lait des femmes qui allaitent les enfants rachitiques, n'est pas exceptionnellement très-pauvre en phosphate de chaux.

2. Lehmann, ouvrage cité, p. 129 (66 centièmes en volume dans le sang artériel et 78 centièmes dans le sang veineux).

3. Même ouvrage, p. 360 (de 20 à 35 gr. par heure, selon l'âge).

appelle *normale* ou de *Paris*[1], l'air respiré, l'eau et les aliments consommés par jour, renferment chacun de $^1/_{100}$ à $^1/_{200}$ milligr. d'iode. Je prends le maximum : en admettant que tout l'iode qui se trouve dans l'air respiré pénètre dans le corps, il en résultera que la proportion d'iode absorbée est de $^3/_{100}$ milligr. par jour pour les régions favorisées, ou de 10.95 milligr., en nombre rond 11 milligr., par an. J'avoue que, malgré l'énergie d'action de l'iode et de ses composés, il ne m'est pas prouvé qu'une proportion d'iode de 11 milligr. par an puisse avoir une action sensible sur le corps humain.

Je dois, d'ailleurs, faire remarquer que, par une réserve prudente, M. Chatin ne considère pas l'insuffisance d'iode comme la cause unique du goître et du crétinisme.

Il signale une foule d'autres causes, sur lesquelles je n'ai pas à m'arrêter ici; de sorte que la question, ainsi posée, laisse toujours une porte ouverte, par laquelle il est possible de s'échapper. Mais je rappellerai, pour combattre cette influence supposée de l'iode :

1° La remarque de de Saussure[2], qui assure que, dans tous ses voyages dans les Alpes, il n'a pas vu un seul village sujet à cette maladie à une hauteur qui passât 500 ou 600 toises au-dessus de la mer. Il ajoute un peu plus bas : « C'est « une chose qui me frappa dans mes premiers voyages dans les « Alpes, que dans une même vallée, sur les bords du même « torrent, les paysans d'une même nation, vivant tous à peu « près de la même manière, fussent parfaitement sains, vifs « et dégagés dans le haut de la vallée; que les symptômes « de la maladie commençassent à paraître dans les lieux plus « bas, et allassent en augmentant jusqu'à un certain terme, « passé lequel les vallées commençant à s'ouvrir du côté des « plaines, on voyait cette infirmité décroître par les mêmes

1. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 12 janvier 1852.

2. De Saussure, *Voyage dans les Alpes*. Genève, Barde, Manget et Cie, 1786, t. II, in-4°, chap. 47, p. 480 et suiv. *Des Crétins et des Albinos*.

rapporte à l'analyse précédente, une quantité d'acide carbonique inférieure à 1 centim. cube par litre, et, par conséquent, que cet acide n'y remplit pas le rôle nécessaire qu'on a voulu lui imposer.

Nous résumerons ce qui précède en disant : 1° que l'acide carbonique est utile dans les eaux potables; 2° que, dans des conditions permanentes ou passagères, il est possible de s'en passer.

§ 11. Acide silicique.

La silice n'existe pas dans les os. Vauquelin et M. Chevreul l'ont rencontrée en proportion très-faible dans les cheveux, les poils et la laine. On la rencontre accidentellement dans le sang, la bile et l'urine. Comme les céréales et les pommes de terre en introduisent dans l'économie plus qu'il n'est nécessaire, il est préférable que l'eau n'en renferme point. Les eaux potables peuvent en contenir de 1 à 50 milligr. par litre ; la majeure partie est libre et dans un état de ténuité extrême, pénètre dans l'économie comme matière inerte et se trouve rejetée avec les excréments.

Comme néanmoins une partie de celle qui est soluble ou combinée peut traverser le rein et former des calculs urinaires, on doit préférer les eaux qui n'en renferment point. L'eau du Rhin en contient 48.8 milligr. par litre, d'après M. H. Sainte-Claire Deville[1], et 21 milligr. d'après M. Pagenst[2].

Il est probable que le repos ne débarrasserait pas l'eau de ce fleuve assez rapidement et assez complétement de sa silice, de sorte qu'il est préférable, pour ce motif, de ne point employer l'eau du Rhin comme eau potable.

§ 12. Fluor, iode, brôme.

Le *fluor* a été trouvé par Berzélius à l'état de fluorure de calcium dans les os et dans l'émail des dents de l'homme et du

1. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXIII, p. 32.
2. Pelouze et Fremy, ouvrage cité, t. I, p. 202.

bœuf, et selon l'illustre chimiste, ce sel y a varié dans la proportion de 2 à 4 p. 100[1].

Il me paraît très-probable, en conséquence, que le fluor qui n'a pas encore été signalé dans le lait devra s'y trouver, pour qu'au début du développement, le système osseux y trouve la proportion de ce corps qui lui est nécessaire.

Il est vrai que quelques analyses d'os humains, et particulièrement celles de Valentin, n'y signalent pas de fluorure de calcium[2].

Ce désaccord a été éclairci par les importants travaux que M. Nicklès a publiés dans les *Mémoires de l'Académie de Stanislas de Nancy pour* 1857, sur la recherche du fluor et sur sa diffusion dans la nature. Il m'est impossible d'analyser ici ces longues recherches; il me suffira de dire que M. Nicklès a trouvé le fluor dans les eaux potables, mais en quantité si minime que, pour en obtenir des traces, il ne faut pas évaporer moins de quelques mètres cubes d'eau.

Par contre, il en a trouvé des quantités plus fortes dans les eaux minérales. Selon M. Nicklès, le procédé suivi pour la recherche du fluor est vicieux, et toutes les déterminations de ce corps doivent être reprises à nouveau; c'est ainsi qu'il fait remarquer que, d'après Berzélius, il y aurait 3 p. 100 de fluorure de calcium dans les os, tandis qu'il n'en a pas trouvé plus de 5 centigr. pour 1 kilogr. de sels calcaires du tissu osseux.

M. Daubrée a trouvé le fluor dans les eaux minérales de Plombières et M. Nicklès dans celles de Contrexeville, d'Antogast, de Rippoltsau, de Châtenois (Bas-Rhin), etc.

La Somme est une des rivières de France les plus riches, et la Seine, à Paris, l'un des fleuves les plus pauvres en fluorures, selon ce dernier chimiste.

---

1. Pelouze et Fremy, t. VI, p. 271.
2. Lehmann, ouvrage cité, p. 104.

« en effet, qui accompagne ce gaz ne paraît jouer dans les eaux « qu'un rôle négatif.

« Quant à l'oxygène, son utilité dans les eaux est un fait ad- « mis généralement. J'ai dit que l'eau distillée qui n'en con- « tient pas est indigeste; mais il suffit de l'agiter quelque temps « à l'air, où elle dissout une certaine quantité de ce principe, « pour qu'elle acquière la faculté d'être digestive. L'eau qui a « bouilli quelque temps est dans le même cas après son refroi- « dissement; comme les gaz, et par conséquent l'oxygène « qu'elle tenait en solution, se sont dégagés en totalité, ou du « moins en grande partie, par l'effet de l'ébullition, elle est « indigeste à la façon de l'eau distillée; mais, comme pour « celle-ci, l'agitation à l'air lui rend bientôt la qualité d'eau « potable qu'elle avait perdue en bouillant.

« On pourrait objecter que les eaux de neige et de glace, « qui ne contiennent point ou presque point d'air, peuvent ce- « pendant être bues sans produire les effets fâcheux de l'eau « distillée et de l'eau bouillie. Mais je répondrai que cela n'est « vrai qu'autant qu'elles sont froides; il ne faut pas perdre de « vue qu'elles doivent alors à leur basse température, compa- « rativement à celle de l'atmosphère, la qualité stimulante « qu'elles recevaient de l'oxygène qu'elles ont perdu en se con- « gelant[1]. La même observation s'applique à l'eau bouillante, ou « du moins très-chaude, ainsi qu'aux infusions théiformes de « substances non excitantes de leur nature; si ces boissons ont « une action digestive, malgré l'oxygène qu'elles ont perdu, « elles la doivent essentiellement à l'influence stimulante de « leur haute température. »

Nous ferons remarquer sur ce passage de l'ouvrage de Dupasquier :

---

1. « Lorsque l'eau se congèle, elle abandonne l'air qui s'y trouve dissous, il se dégage en une infinité de petites bulles, qui, retenues au milieu de la glace, lui donnent une certaine opacité. Beaucoup de ces bulles sont assez volumineuses, pour être facilement aperçues à l'œil nu. »

1° Qu'aucune expérience physiologique connue n'a défini le rôle de l'oxygène et celui de l'azote dans l'acte de la digestion;

2° Que l'oxygène et l'azote étant supposés faire défaut dans l'eau de neige ou de glace et dans l'eau bouillante, il est singulier et certainement très-commode de supposer que le froid et le chaud produiront sur l'estomac le même rôle que l'oxygène;

3° Que l'eau de glace ou de neige fondue, au lieu de manquer d'air, comme le suppose Dupasquier, est, au contraire, convenablement aérée; toutefois on devra remarquer qu'elle ne renferme l'acide carbonique qu'en très-faible proportion.

Voici maintenant la contre-partie de l'opinion précédente. Le savant professeur d'hygiène à la Faculté de médecine de Paris, M. Bouchardat, s'est exprimé dans les termes suivants sur la question de l'air dans les eaux potables, lors de la discussion soulevée à l'Académie de médecine, à propos du mémoire de M. Lefort sur l'aération des eaux [1]:

« La présence de l'air dans les eaux destinées à la boisson « est une condition de salubrité généralement admise par les « auteurs et qui est vraie, mais dont il ne faut pas s'exagérer « l'importance; l'eau aérée a une saveur plus agréable que « celle qui ne l'est pas, et c'est un point d'une grande impor- « tance quand il s'agit d'eaux potables; mais cet air joue-t-il « un rôle indispensable? Il est permis d'en douter quand on « voit le peuple le plus nombreux du globe, les Chinois, n'em- « ployer l'eau qu'après l'avoir fait bouillir, c'est-à-dire lors- « qu'elle est privée d'air.

« L'air contenu dans les eaux potables a une composition « très-variable, et cela se comprend sans peine d'après la so- « lubilité différente des gaz et l'action que les matières en dis- « solution ou en suspension dans ces eaux peuvent exercer sur « certains d'entre eux. L'air contenu dans l'eau des fleuves est

1. *Gazette médicale de Paris*, 20 décembre 1862, p. 792.

« généralement plus riche en oxygène que celui de l'atmo-
« sphère.

« Cherchons maintenant à déterminer quel peut être le
« genre d'utilité de l'air et particulièrement du gaz oxygène
« dans les eaux potables.

« On admet généralement que l'eau aérée est plus digestible,
« et qu'elle possède une saveur plus agréable que l'eau distillée
« pure. Sans nier que l'air puisse très-légèrement modifier la
« saveur de l'eau, je crois que les observations qui établissent
« ce fait manquent de précision. Quand on compare pour la sa-
« veur une eau potable de bonne qualité à l'eau distillée, on
« trouve cette dernière fade, avec un arrière-goût étrange;
« mais des causes diverses peuvent intervenir : l'eau potable,
« outre l'oxygène et l'azote, qui sont ici en question, contient
« de l'acide carbonique et des matières fixes qui modifient sa
« sapidité; d'autre part, il est incontestable que l'eau distillée
« préparée dans des alambics métalliques emprunte à ces vases
« des traces de ces substances qui ont une influence décisive
« sur la saveur de l'eau.

« Quant à l'action digestive de l'oxygène en dissolution dans
« l'eau, c'est une assertion que tous les auteurs répètent sans
« qu'aucune observation directe en démontre la réalité.

« Est-ce à dire pour cela que je ne considère point la pré-
« sence du gaz oxygène dans les eaux potables comme un in-
« dice de leur bonne qualité? Ce n'est pas ma pensée. Éclairé
« par une remarquable observation de M. Boussingault, sur la-
« quelle je reviendrai, et qui démontre l'absence de gaz oxy-
« gène dans des eaux de mauvaise qualité des Cordillères, je
« dis : Défiez-vous d'une eau qui ne renferme pas de gaz oxy-
« gène; mais ce n'est, selon moi, qu'une question de coïnci-
« dence; l'absence de gaz oxygène dans les eaux peut dépendre
« de la présence dans ces eaux de matières organiques qui
« l'absorbent, et ce sont précisément ces matières organiques
« qui sont nuisibles, comme je chercherai bientôt à l'établir.

« Ainsi ce n'est point parce que le gaz oxygène est utile à la « digestion que j'aime à le trouver dans une eau potable, mais « parce que sa présence en proportion notable est incompa- « tible avec celle des substances organiques spéciales qui doi- « vent être le plus souvent incriminées.

« Le gaz acide carbonique existe généralement en propor- « tion beaucoup plus considérable dans l'air des eaux potables « que dans celui de l'atmosphère, et cela se comprend sans « peine d'après la belle observation de M. Peligot, qui a dé- « montré que l'eau, en tombant sous forme de pluie, purifiait « l'air de l'acide carbonique qu'il contenait.

« La présence du gaz acide carbonique dans les eaux pota- « bles est une chose favorable; il leur donne de la sapidité; « il excite l'appétit, paraît favoriser la digestion. C'est à lui que « plusieurs eaux de table, Seltz, Saint-Galmier, Condillac, « Pougues, doivent leurs principales propriétés.

« Je ne veux pas cependant défendre d'une manière absolue « l'usage des eaux chargées de 5 volumes d'acide carbo- « nique; je crois qu'on abuse singulièrement de ces eaux de « Seltz artificielles.

« Toutes les eaux courantes, et on pourrait dire toutes les « eaux potables renferment une très-faible quantité d'ammo- « niaque combinée; cette ammoniaque a été enlevée à l'at- « mosphère par les pluies, ou provient de la décomposition « spontanée des matières azotées se putréfiant dans les eaux.

« Bien que nous attribuions une action décisive aux sub- « stances organiques dans l'action nuisible des eaux, gardons- « nous de conclure à l'insalubrité d'une eau d'après la pré- « sence de quelques milligrammes d'ammoniaque par litre.

« Plusieurs cas peuvent se présenter dans lesquels cette « constatation n'est point un critérium des eaux insalubres; je « me contenterai d'en citer deux : le premier, c'est quand la « décomposition de la matière est complète; le second, c'est « quand cette matière organique est d'action indifférente, et

« heureusement pour nous, c'est le cas le plus ordinaire, sur-« tout lorsqu'il s'agit de l'eau des fleuves et des rivières. »

Il ressort de ce passage, que, selon M. Bouchardat, l'eau chaude non aérée est de digestion facile, et que dans l'eau froide, l'oxygène ne paraît avoir aucune influence sur la digestion; toutefois la présence de ce gaz dans les eaux semble indiquer qu'elles renferment peu de matières organiques et, à ce point de vue, le volume élevé de l'oxygène dans les eaux est un signe favorable.

En admettant la première proposition, je dois dire que la seconde me paraît, jusqu'à preuve contraire, aussi problématique que celle qu'elle est destinée à remplacer; sans doute si les matières organiques variaient toujours dans les eaux en sens inverse du volume d'oxygène qu'on y trouve, la diminution d'oxygène serait une circonstance fâcheuse; mais ce point accordé, il reste toujours à savoir si l'oxygène joue par lui-même ou non un rôle dans la digestion.

Je dois ajouter, d'ailleurs, que la comparaison des résultats fournis par les analyses ne permet pas d'affirmer que le volume d'oxygène trouvé dans un litre d'eau varie en sens inverse du poids de matière organique qu'on y reconnaît[1].

La question subsiste donc en son entier : L'air en dissolution dans les eaux, est-il ou non favorable à la digestion?

Pour la discuter, je distinguerai les six cas suivants :

1° Eaux ayant reçu de petites quantités de matières organiques et qui sont à une température élevée;

2° Boissons alcooliques;

3° Eaux potables ordinaires;

1. Dans certains cas même, comme il arrive pour les eaux des puits de Grenelle et de Passy, il n'y a pas d'oxygène dans l'eau, et cependant la proportion de matière organique est relativement faible. Dans les puits forés de Strasbourg, la proportion d'oxygène est faible, ainsi que la proportion des matières organiques.

4° Eaux provenant, après un ou plusieurs jours, de neige ou de glace fondue;

5° Eau ordinaire non aérée;

6° Eau distillée non aérée.

Lorsqu'on se demande quelle est l'utilité que l'oxygène et l'azote peuvent avoir dans les eaux potables, on peut en trouver à deux points de vue; — j'omets cette opinion que l'oxygène peut servir à la transformation des matières alimentaires dans l'estomac, en servant à les oxyder directement; car la quantité d'eau prise par repas ne dépasse guère 1 litre, et le volume de l'oxygène de l'air en dissolution qui y correspond, est de 10 centim. cubes au maximum; — ce volume est insignifiant relativement à la masse des aliments à transformer. Mais on peut prétendre que l'oxygène et l'azote agissent comme le font les ferments; on comprendrait alors leur influence, quoiqu'ils se trouvassent en faible proportion au milieu des aliments ingérés; les faits semblent contraires à cette hypothèse, et je ne sache pas qu'aucun physiologiste l'ait adoptée.

On peut dire, en second lieu, que l'air dissous dans l'eau modifie sa densité et rend, par cela même, son action plus facile sur les aliments. Afin de savoir ce qu'il faut penser de cette opinion, c'est à l'expérience qu'il faut s'adresser. Il faut faire comparativement usage d'eau potable aérée ou non aérée et voir si les résultats, quant à la digestion, seront ou non différents; c'est ainsi que j'ai procédé comme on le verra plus loin.

1° *Eaux renfermant de faibles quantités de matières organiques et dont la température est élevée.* — Ces eaux sont de digestion facile, soit par le fait de la matière organique qu'elles renferment, soit par leur température, soit par leur diminution de densité et peut-être par ces trois causes réunies, alors qu'elles ne renferment pas d'air.

A ce sujet, on peut citer comme fait permanent, le régime qui, dans certaines parties de la Chine où l'état sanitaire est

bon, est suivi par la population qui ne prend l'eau qu'à l'état de thé léger et très-chaud.

Le fait est incontestable: il est certifié par les chirurgiens et les officiers de notre expédition de Chine.

Mais sans aller si loin, on pouvait remarquer qu'en Angleterre une partie de la population déjeune avec du thé et des viandes froides sans qu'il y ait addition d'eau; j'ajoute que le café et le bouillon, qui sont privés d'air, sont de digestion facile qu'on leur adjoigne ou non de l'eau potable.

2° *Boissons alcooliques*[1]. — On sait que le vin et la bière se digèrent fort bien à la température ordinaire, avec ou sans aliments solides et avec ou sans eau.

J'ai cherché quelle était la composition des gaz contenus dans le vin et dans la bière, pour savoir si on pouvait leur attribuer quelque influence sur la digestion.

J'ai opéré sur du vin de Barr ordinaire, récolte de 1859 :

Le volume employé était de.	675 centim. cubes.
Le volume total de gaz obtenu est de	56
Le résidu après l'action de la potasse	12
Le résidu après l'action du phosphore.	11

Ce qui donne :

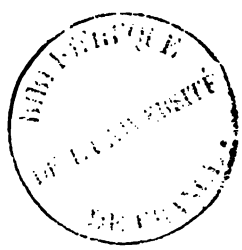
Acide carbonique. . .	44 centim. cubes.
Oxygène	1
Azote	11

En calculant les volumes de gaz qui se rapportent à 1 litre de vin, on trouve :

Acide carbonique . .	65.2 centim. cubes.
Oxygène	1.48
Azote	17.7

Ces nombres montrent que l'acide carbonique entre dans le vin en proportion notablement plus forte que dans l'eau; l'oxygène en proportion très-faible, et l'azote à peu près avec les proportions qu'on lui trouve dans l'air de l'eau.

1. J'ai parlé des boissons alcooliques pour fournir quelques éléments de plus à la solution de la question de l'aération des eaux.



Il va sans dire que ces résultats varieront beaucoup avec la nature et surtout avec l'âge du vin.

J'ai terminé ces recherches par une étude analogue sur la bière, boisson fort répandue et souvent substituée au vin et à l'eau pendant les repas ou dans leur intervalle.

Dans une première expérience on a déterminé la proportion d'acide carbonique contenu dans 1 litre de bière de mars provenant de la brasserie des *Trois Rois*[1].

Cette bière avait été tirée à la manière ordinaire, et avait perdu, au moment de sa sortie du robinet, une bonne partie de son acide carbonique, puis avait été transvasée d'un pot à bière dans une bouteille et portée au laboratoire, où elle a dû en perdre encore pendant son introduction dans le ballon qui a servi à l'analyse faite le 20 juin 1863.

Volume du ballon	350 centim. cubes.
Température de la bière	17°
Température du laboratoire	20°
Volume de l'acide carbonique	168 centim. cubes.
Volume brut de l'acide carbonique par litre	480

Ce dernier nombre ou 1 demi-litre, en nombres ronds, peut représenter l'acide carbonique qui reste dans 1 litre de bière de mars sortie du tonneau depuis une demi-heure. Mais ce que je me proposais surtout de chercher, c'étaient les proportions d'oxygène et d'azote contenus dans le même liquide[2].

Dans une expérience faite le 6 juillet 1863, j'ai reçu le gaz provenant de la bière dans une terrine contenant une dissolution de potasse caustique; la majeure partie de l'acide carbonique fut absorbée, et le dégagement terminé, on enleva le reste par l'agitation de l'éprouvette; le résidu fut mesuré dans une cloche divisée en dixièmes de centimètres cubes.

---

1. A Strasbourg.

2. Un accident survenu au résidu de l'analyse précédente n'a pas permis cette recherche.

Pression atmosphérique	0^m,7565
Température de l'air du laboratoire .	23°
Température de la bière	18°
Volume du ballon	350.00 centim. cubes.
Volume de gaz résidu	2.65

Ce gaz a été analysé par le phosphore à froid, et le lendemain, 7 juillet, à la température de 20°,5 et sous la pression de 0^m,755 le volume résidu s'est trouvé égal à 2.3 centim. cubes.

Ce qui donne, tout calcul fait, par litre de bière à 18° :

Volume total d'air contenu	6.7 centim. cubes.
Volume d'azote	6.0
Volume d'oxygène	0.7

On voit donc par ce résultat que l'oxygène entre pour moins de 1 centim. cube dans 1 litre de bière, et même on pourrait penser, sans trop d'improbabilité, que l'oxygène qu'on y a trouvé, et peut-être une partie de l'azote, proviennent de l'agitation à laquelle le liquide a été soumis depuis sa sortie du tonneau jusqu'au moment où il a été analysé.

Une observation analogue est à faire pour le vin[1].

On voit par ce qui précède que deux liquides, dont on fait une si grande consommation, ne renferment que des quantités insignifiantes d'oxygène, mais des proportions d'acide carbonique notablement plus grandes que celles de l'eau.

L'oxygène n'est donc pas indispensable à la digestion de ces liquides; ils renferment, il est vrai, des proportions notables d'azote et relativement grandes d'acide carbonique, indépendamment de la matière organique et de l'alcool qui en font partie.

3° *Eaux potables.* — Ces eaux renferment, comme on pourra s'en assurer par le tableau suivant, des proportions très-variables d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique.

---

1. Avec d'autant plus de probabilité que les analyses des gaz de différents vins, faites par M. Berthelot et par quelques autres chimistes, ne donnent pas d'oxygène.

Tableau des volumes de gaz en dissolution dans 1 litre d'eau.

DÉSIGNATION DES EAUX[1].	GAZ DISSOUS PAR LITRE (centim. cubes à 0° et à 0m,76).			Volume total.
	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.	
1. Source des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées).	5.6	13.8	16.2	35.6
2. Source d'Argagnon près d'Orthez (B.-Pyrénées).	4.7	13.6	24.9	43.2
3. Source de Combes-la-Ville (Seine-et-Marne) . . .	3.1	16.6	35.0	54.7
4. Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846	3.9	12.0	16.2	32.1
5. Eau du puits artésien de Grenelle en 1841	3.6	13.0	1.5	18.1
6. Eau du Château d'eau de Reims, 18 juin 1849. . .	5.7	15.6	5.8	27.1
7. Eau de la Vilaine à Redon, 18 août 1846.	3.7	14.9	1.8	20.4
8. La Loire à Nantes, vis-à-vis le Château, 7 juillet 1846	5.5	11.4	0.5	17.5
9. La Maine à Clisson, 26 juillet 1846	4.3	14.5	3.3	22.1
10. Lac de Grandlieu près Bonage, 17 juillet 1846 . .	5.9	13.4	0.6	19.9
11. Eau de la Garonne à Toulouse, 16 juillet 1846 . .	7.9	15.7	17.0	40.6
12. Eau du puits de l'école normale de Rhodez, 20 décembre 1849	9.8	25.3	21.7	56.8
13. Eau du Doubs à Besançon, 17 juin 1845	9.5	18.2	17.8	45.5
14. Eau du Rhône à Genève, 30 avril 1846.	8.4	18.4	8.0	34.8
15. Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835.	6.5	11.5	6.5	24.5
16. Eau du Rhône à Lyon, 2 mars 1839.	7.9	16.0	12.8	36.7
17. Eau du Rhin à Strasbourg, mai 1846	7.4	15.9	7.6	30.9
18. Eau prise au milieu du lac du bois de Boulogne, juin 1856	2.6	12.0	1.3	15.9
19. Eau de l'étang de Cazeau (Landes), novembre 1858.	6.6	16.0	11.2	33.8
20. Eau d'un puits de Paris, près le marché St-Honoré.	1.4	20.7	38.1	60.2
21. Eau des fontaines de Haguenau	6.0	29.6	22.2	57.8
22. Eau d'une source près de Versailles, 15 juill. 1858.	5.7	13.3	11.4	30.4
23. Eau de la même source, 25 juillet 1858.	3.7	16.2	11.8	31.7
24. Eau de Seine[2], 19 janvier 1855 (Peligot)	10.1	21.4	22.6	54.1
25. ROME. Eau Felice[3].	6.9	23.55	24.70	55.15
26. — Eau Vergine ou de Trevi	7.89	15.75	24.44	48.08
27. — Eau Pauline	6.92	16.06	7.78	30.76
28. — Eau du Tibre	8.12	20.15	16.15	44.43
29. STRASBOURG. Eau de pluie[4].	9.7	20.5	0.8	31.0
30. — Eau de pluie	10.5	19.6	0.9	30.0

1. La première partie de ce tableau est empruntée à M. Hervé-Mangon, article EAUX du *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*, p. 183; je ferai remarquer toutefois que j'ai rectifié les indications relatives à l'oxygène et à l'azote, qui avaient été interverties.

2. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XLIV, p. 264.

3. Commaille et Lambert, *Recherches sur les eaux potables et minérales du bassin de Rome*.

4. *Hydrographie médicale de Strasbourg*, p. 103.

DÉSIGNATION DES EAUX.	GAZ DISSOUS PAR LITRE.			Volume total.
	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.	
31. Ill (amont) (Roger et Lévy)	9.06	16.62	8.31	33.99
32. Ill (aval) (*idem*)	9.78	17.24	6.52	33.54
33. Sondage près le Petit-Rhin (Liès-Bodard et Rosenstiehl)	6.4	14.7	7.0	28.1
34. Sondage de l'Esplanade de la Citadelle (Roger et Jacquemin)	5.0	13.0	10.0	28.0
35. Citadelle (Roger et Lévy)	4.42	17.55	10.85	32.82
36. Pharmacie, hôpital militaire	3.84	23.08	15.38	42.30
37. Cuisine, hôpital militaire	7.68	22.40	23.76	53.84
38. Caserne Saint-Nicolas	5.40	20.0	15.0	40.40
39. Manutention	9.0	22.0	19.0	50.0
40. Caserne d'Austerlitz	3.85	26.87	7.68	38.40
41. Caserne des Ponts-Couverts	5.04	20.17	21.87	47.07
42. Rue du Dôme	9.61	30.77	25.0	65.38
43. Caserne du faubourg de Saverne	5.39	19.78	21.51	46.68
44. Caserne de la Finckmatt	6.98	19.18	15.70	41.86
45. Caserne des pontonniers	6.93	22.48	13.81	43.22
46. Rue de l'Ail, 19 (Hepp)	26.5	»	12.5	39.0
47. Puits de la cour du Lycée[1] (Hugueny)	5.3	16.7	12.0	34.0
48. Puits foré de la cuisine du Lycée (Hugueny)	3.4	16.6	7.0	27.0

1. Au moment de l'analyse, la pression était 0m,75 et la température de l'air = 15°.

Un certain nombre des chiffres de ce tableau sont sujets à caution, du moins quant à l'acide carbonique, comme le remarque M. Peligot dans le mémoire cité[1]; de plus on ignore, pour bon nombre d'entre eux, si les eaux ont été analysées aussitôt après avoir été puisées ou si elles sont restées exposées à l'air pendant quelque temps et comment elles ont été introduites dans les ballons; et cependant les recherches de M. Peligot sur la composition de l'air contenu dans l'eau du puits de Grenelle[2], ont montré toutes les précautions qu'il

1. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XLIV, p. 267.
2. Même Collection, t. LI, p. 371, 3e série.

faut prendre pour ne pas être induit en erreur sur les proportions d'oxygène et d'azote obtenus[1].

Ces réserves étant faites, on remarquera que les quantités d'oxygène varient dans les eaux de 3 à 10 centim. cubes par litre; celles d'azote, de 11 à 30 centim. cubes; celles d'acide carbonique, de 1 à 40 centim. cubes, et le volume total de gaz, de 20 à 60 centim. cubes.

Le volume d'oxygène ne varie pas en sens inverse de celui de l'acide carbonique, si ce n'est dans quelques cas particuliers; on ne peut donc pas de la faible proportion d'oxygène induire en général une proportion plus forte de matières organiques dans les eaux.

Il n'existe dans la science aucune étude sur l'influence comparée de ces eaux sur la digestion au point de vue des gaz qu'elles renferment; des recherches de ce genre présenteraient, d'ailleurs, des difficultés sérieuses, parce qu'il faudrait démêler et pouvoir séparer l'action des matières salines qu'elles contiennent.

On répète sans cesse que les eaux doivent être aérées. Je suis à me demander si l'on s'entend bien sur le sens de ce dernier mot. Les gaz en dissolution dans l'eau sont l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique; c'est tantôt l'un et tantôt l'autre qui prédomine. Les eaux les renferment ordinairement tous les trois, ou du moins deux d'entre eux et en proportions variables.

Prétend-on dire que celles qui renferment le plus grand volume des trois gaz réunis doivent être préférées? L'eau sera-t-elle d'autant meilleure que l'oxygène y sera en plus forte proportion? Ou sera-ce l'acide carbonique qu'il faudrait surtout y trouver? Ou bien encore serait-ce le maximum de

1. Je dois signaler ici les expériences intéressantes de M. Lefort sur les proportions de gaz que l'eau bouillie ou non peut absorber dans un temps plus ou moins long, on les trouvera consignées dans le tome XVII de la *Gazette médicale*, p. 752, 3e série.

volume de ces deux gaz réunis qu'il serait désirable d'y rencontrer? Le rôle de l'azote est-il négligeable, relativement à celui des deux autres gaz?

On voit combien la question est complexe : or, jusqu'à présent aucun fait scientifiquement établi ne permet de réponse à l'une quelconque de ces questions.

Sans doute l'usage apprend que des eaux aérées, remplissant d'ailleurs d'autres conditions, sont de bonnes eaux potables; mais il montre aussi que des eaux moins aérées le sont également, et pour une eau non aérée, aucune expérience n'a prouvé qu'elle ne pourrait se digérer.

Voici donc comment je formulerai mon opinion sur ce sujet: Des eaux renfermant des proportions d'air très-variables sont potables; s'il existe entre elles, dans la facilité qu'on trouve à les digérer, des différences qui tiennent à l'inégalité de ces proportions, rien ne les a mises en lumière jusqu'à présent. Au lieu d'affirmer sur ce point, il est sage de douter et de chercher.

4° *Eau provenant immédiatement de neige ou de glace fondue.* — La première chose à faire ici était de rechercher si l'eau provenant de neige ou de glace fondue renfermait de l'air et quelle est la composition de cet air. Pour la neige, je rappellerai la détermination suivante due à M. Boussingault :

350 centim. cubes[1] de neige fondue ont donné 11.62 centim. cubes d'air à 0° et à la pression de $0^m,76$. Cet air, analysé par le phosphore, renfermait 32 p. 100 d'oxygène. Comme il n'y est pas question d'acide carbonique, j'ai lieu de supposer que ce gaz n'entrait point en proportion appréciable dans l'air recueilli.

En ramenant ces divers nombres à 1 litre d'eau, on trouve que 1 litre d'eau renfermait 33.2 centim. cubes d'air, formé de 10.6 centim. cubes d'oxygène et de 22.6 centim. cubes d'azote,

1. *Annales de chimie et de physique*, t. Ier, 3e série, p. 358.

c'est-à-dire que cette eau provenant de neige fondue était aussi riche en oxygène que les eaux qui en renferment le plus, comme on pourra s'en convaincre par le tableau que j'ai donné.

Pour la glace, j'ai fait l'expérience suivante, le 13 février 1863 : De la glace a été exposée au soleil, depuis 9 heures et demie du matin jusqu'à 4 heures de l'après-midi : température au soleil, à midi, 17°; à l'ombre, 7°.

603 centim. cubes d'eau de fusion ont donné un volume total de gaz[1] de 15.8 centim. cubes; le volume s'est réduit après l'action de la potasse à 15.2 centim. cubes; les 15.2 centim. cubes traités par le phosphore ont donné un résidu de 10.2 centim. cubes.

Ce qui donne :

Volume total	15.8 centim. cubes.
Acide carbonique . .	0.6
Oxygène	5
Azote	10.2

et ramenant ces volumes à 1 litre d'eau :

Volume total	26.2 centim. cubes.
Acide carbonique . .	1
Oxygène	8.3
Azote	16.9

résultats qui diffèrent peu de ceux obtenus par M. Boussingault, à part l'acide carbonique.

On doit remarquer d'après ces nombres, 1° que l'eau provenant de glace fondue est, après 7 heures écoulées depuis le commencement de la fusion, aussi riche en oxygène que la plupart des eaux naturelles; 2° qu'elle renferme beaucoup moins d'acide carbonique; 3° que l'oxygène et l'azote sont sensiblement entre eux dans le rapport de 32.9 à 67.1.

Comme la glace employée était un peu salie par de la terre et quelques brins d'herbe dont une faible partie était restée

1. Les volumes sont réduits à 0° et à 0m,76.

inaperçue dans l'eau, l'expérience a été recommencée le 17 février. On a exposé la glace à 11 heures et demie au soleil, et à 4 heures 40 minutes elle n'était pas encore complétement fondue.

L'eau de fusion a été introduite alors dans un ballon par un siphon, dont l'extrémité de la petite branche plongeait de 5 centim. environ au-dessous de la surface de l'eau de la terrine qui contenait la glace; le ballon rempli, on a laissé écouler une certaine quantité d'eau pour éviter l'influence que l'air du ballon pouvait avoir eue sur elle pendant qu'elle y montait. Voici les nombres obtenus :

Pression atmosphérique	0m,7617
Température	9°,8
Le volume de l'eau qui a bouilli étant de . .	625 centim. cubes.
Le volume total de gaz recueilli a été de . .	17[1]
Acide carbonique.	0.8
Oxygène	4.9
Azote	11.3

et pour 1 litre d'eau :

Volume total de gaz.	27.20
Acide carbonique	1.28
Oxygène	7.83
Azote	18.10

Ces nombres diffèrent à peine de ceux fournis par la première expérience, et donnent lieu aux mêmes conclusions, avec cette seule différence que les proportions d'oxygène et d'azote pour 100 volumes sont dans le rapport de 30.2 à 69.8.

Ces trois analyses montrent que l'eau provenant de glace ou de neige qui s'est fondue à la température ambiante, renferme, après le temps nécessaire à la fusion, autant d'oxygène et d'azote que les eaux bien aérées, mais point ou presque point d'acide carbonique.

Ce premier point éclairci, nous avons à nous poser la ques-

1. Ces volumes sont réduits à 0° et à 0m,76 de pression.

Tableau des volumes de gaz en dissolution dans 1 litre d'eau.

DÉSIGNATION DES EAUX[1].	GAZ DISSOUS PAR LITRE (centim. cubes à 0° et à 0m,76).			Volume total.
	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.	
1. Source des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées).	5.6	13.8	16.2	35.6
2. Source d'Argagnon près d'Orthez (B.-Pyrénées).	4.7	13.6	24.9	43.2
3. Source de Combes-la-Ville (Seine-et-Marne) . . .	3.1	16.6	35.0	54.7
4. Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846	3.9	12.0	16.2	32.1
5. Eau du puits artésien de Grenelle en 1841	3.6	13.0	1.5	18.1
6. Eau du Château d'eau de Reims, 18 juin 1849. . .	5.7	15.6	5.8	27.1
7. Eau de la Vilaine à Redon, 18 août 1846.	3.7	14.9	1.8	20.4
8. La Loire à Nantes, vis-à-vis le Château, 7 juillet 1846	5.5	11.4	0.5	17.5
9. La Maine à Clisson, 26 juillet 1846	4.3	14.5	3.3	22.1
10. Lac de Grandlieu près Bonage, 17 juillet 1846 . .	5.9	13.4	0.6	19.9
11. Eau de la Garonne à Toulouse, 16 juillet 1846 . .	7.9	15.7	17.0	40.6
12. Eau du puits de l'école normale de Rhodez, 20 décembre 1849	9.8	25.3	21.7	56.8
13. Eau du Doubs à Besançon, 17 juin 1845	9.5	18.2	17.8	45.5
14. Eau du Rhône à Genève, 30 avril 1846.	8.4	18.4	8.0	34.8
15. Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835.	6.5	11.5	6.5	24.5
16. Eau du Rhône à Lyon, 2 mars 1839.	7.9	16.0	12.8	36.7
17. Eau du Rhin à Strasbourg, mai 1846	7.4	15.9	7.6	30.9
18. Eau prise au milieu du lac du bois de Boulogne, juin 1856	2.6	12.0	1.3	15.9
19. Eau de l'étang de Cazeau (Landes), novembre 1858.	6.6	16.0	11.2	33.8
20. Eau d'un puits de Paris, près le marché St-Honoré.	1.4	20.7	38.1	60.2
21. Eau des fontaines de Haguenau	6.0	29.6	22.2	57.8
22. Eau d'une source près de Versailles, 15 juill. 1858.	5.7	13.3	11.4	30.4
23. Eau de la même source, 25 juillet 1858.	3.7	16.2	11.8	31.7
24. Eau de Seine[2], 19 janvier 1855 (Peligot)	10.1	21.4	22.6	54.1
25. ROME. Eau Felice[3].	6.9	23.55	24.70	55.15
26. — Eau Vergine ou de Trevi	7.89	15.75	24.44	48.08
27. — Eau Pauline	6.92	16.06	7.78	30.76
28. — Eau du Tibre	8.12	20.15	16.15	44.43
29. STRASBOURG. Eau de pluie[4].	9.7	20.5	0.8	31.0
30. — Eau de pluie	10.5	19.6	0.9	30.0

1. La première partie de ce tableau est empruntée à M. Hervé-Mangon, article EAUX du *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*, p. 183; je ferai remarquer toutefois que j'ai rectifié les indications relatives à l'oxygène et à l'azote, qui avaient été interverties.

2. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XLIV, p. 264.

3. Commaille et Lambert, *Recherches sur les eaux potables et minérales du bassin de Rome.*

4. *Hydrographie médicale de Strasbourg*, p. 103.

donc induire de cette expérience que la digestion se fait sans difficulté avec l'eau provenant de glace fondue, bien aérée et ne renfermant qu'une très-faible quantité d'acide carbonique; que toutefois elle se fait moins bien qu'avec l'eau ordinaire pour un estomac habitué à cette dernière.

Je dois, d'ailleurs, faire ici deux réserves : l'eau provenant de glace fondue est généralement moins chargée de sels que l'eau des puits; l'eau de glace que j'ai prise comme boisson marquait 1°,8 à l'hydrotimètre, et au même instant l'eau de mon puits me donnait 23°. La question se complique par cette circonstance même, et l'on ne peut savoir a priori si c'est le fait de l'absence de l'acide carbonique ou celui de l'absence de sels qui a provoqué, de la première eau à la seconde, une différence peu marquée, d'ailleurs, dans la digestion. La deuxième réserve est relative aux conditions dans lesquelles se trouve l'observateur qui se livre à ces essais. J'y insisterai après avoir parlé de quelques autres expériences analogues à celles-ci.

5° *Eau ordinaire non aérée.* — Le 19 juillet 1864, j'ai fait bouillir de l'eau de puits, pendant un quart d'heure; puis j'en ai rempli à chaud 10 flacons, fermant à l'émeril; ces flacons, de 250 grammes environ chacun, revenus à la température ambiante, ont servi à ma consommation pendant 3 jours, à raison d'un flacon par repas. Il m'a semblé se produire une pesanteur d'estomac bien marquée; il y a eu formation de gaz intestinaux, borborygmes et émission de gaz par le haut et par le bas.

J'ai voulu m'assurer si, en introduisant de l'acide carbonique dans cette eau, ces inconvénients disparaîtraient.

J'avais fait préparer de l'eau tenant son volume d'acide carbonique en dissolution.

En en introduisant, le 27 juillet, de 30 à 40 centim. cubes dans l'eau bouillie non aérée, la digestion m'a paru se faire facilement et sans les inconvénients des jours précédents;

l'expérience, répétée pendant 2 jours, a montré que la lourdeur d'estomac disparaissait, quoique les éructations et les vents revinssent, mais avec moins de fréquence.

6° *Eau distillée non aérée.* — J'ai fait préparer un flacon de 4 litres environ, renfermant de l'eau distillée bouillie, qui avait été recouverte d'une couche d'huile d'olive de 1 centim. de hauteur; le flacon avait un robinet en bois dans le bas.

Le 1er novembre 1863, j'ai commencé la consommation de cette eau, dont la digestion m'a paru difficile.

J'ai eu des bâillements fréquents, avec développement de gaz, s'échappant par le haut et par le bas.

Le même effet s'est produit les jours suivants; mais après 4 jours j'ai interrompu l'usage de cette eau, parce qu'elle était devenue opaline; l'huile, par un effet de dyalise ou par décomposition, se trouvait mêlée à l'eau et il était à craindre que l'expérience ne fût plus suffisamment concluante.

J'ai donc fait préparer 12 flacons, bouchant à l'émeril, de 250 gr. chacun, renfermant de l'eau distillée bouillie, introduite chaude dans les flacons ; les bouchons avaient été recouverts de cire. Lorsque je voulais faire usage de l'eau d'un flacon, j'en enlevais la cire et je chauffais le col pour pouvoir retirer le bouchon. L'usage de cette eau fut commencé le 13 décembre 1863. J'ai constaté des effets analogues à ceux que j'avais obtenus la première fois. J'ai suspendu le 19 l'emploi de cette eau ; je dois faire remarquer d'ailleurs qu'elle était la seule boisson de chaque repas.

Ici se présente une observation qui montrera combien les expériences de ce genre présentent de difficultés.

J'eus l'estomac embarrassé pendant tout le mois de décembre, sans pouvoir définir au juste le siége et la nature du mal, lorsque je pus me convaincre que j'avais été tourmenté par deux lombrics pendant ce temps.

Je ne vois, bien entendu, qu'un simple fait de coïncidence dans le développement de ces lombrics, et j'ajoute qu'à mes

yeux, ils jettent du doute sur les résultats de l'essai dont je viens de parler.

Le mardi 19 juillet 1864, je me suis remis à prendre de l'eau distillée non aérée, et il s'est produit de nouveau une certaine lourdeur d'estomac et des dégagements gazeux.

Je dois ajouter, en présentant ces observations, les restrictions qu'elles me paraissent comporter.

1° Les résultats doivent dépendre du tempérament et de la constitution des personnes qui font ces expériences, qui ne me paraissent pas dangereuses, à la condition de n'être pas prolongées; il importe qu'elles soient répétées par des personnes d'âge, de sexe et de tempérament différents.

2° Il est à remarquer que l'attention que l'on prête à ces essais peut être la cause de certains effets qui n'auraient pas été obtenus, si l'esprit n'avait pas été fortement préoccupé des résultats que l'on attend.

3° Il faudrait, autant que possible, que le régime suivi fût simple et uniforme, que les mets fussent les mêmes pendant le temps où on fait usage de l'eau non aérée; il faudrait aussi s'abstenir de tout autre liquide qui pourrait modifier les résultats.

Je conseillerais d'ailleurs de faire usage non pas de l'eau obtenue par distillation dans des alambics en cuivre, qui a un goût désagréable et susceptible de provoquer des nausées, mais d'eau ordinaire non aérée.

4° Il faudra tenir compte des causes physiques et morales, qui pourraient avoir quelque influence sur le phénomène qu'on étudie.

Conclusions. — Il résulte de cette étude sur la présence de l'air dans les eaux :

1° Que l'air n'est pas nécessaire dans l'eau à une température élevée;

2° Que l'oxygène n'est pas nécessaire dans les boissons alcooliques;

3° Que l'estomac peut s'habituer à des eaux dont la proportion de gaz dissous varie dans le rapport de 1 à 3;

4° Que rien n'a été démontré relativement à l'avantage de proportions plus fortes d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique dans les eaux potables;

5° Que les eaux provenant de glace ou de neige fondue se digèrent facilement, et que l'estomac peut s'y habituer; ces eaux sont riches en oxygène et en azote, mais ne renferment que des traces d'acide carbonique; elles sont très-peu chargées de matières salines en général;

6° Que les eaux ordinaires non aérées se digèrent difficilement;

7° Qu'elles se digèrent bien quand on leur adjoint 30 à 40 centim. cubes d'acide carbonique;

8° Que les eaux distillées non aérées se digèrent mal;

9° Qu'il est possible, d'après l'expérience relative aux eaux ordinaires non aérées, que les eaux plus aérées se digèrent plus facilement que celles qui le sont moins.

Les quatre dernières conclusions ne sont que provisoires; elles exigent, pour être affirmées en général, des expériences faites par des personnes de tempérament, de sexe et de régime différents, dans des conditions variées, à la ville et à la campagne, et, s'il était possible, sur des personnes qui ne fussent pas informées des essais qu'on tente sur elles, essais qui ne feront courir aucun danger, si on ne les prolonge pas.

inaperçue dans l'eau, l'expérience a été recommencée le 17 février. On a exposé la glace à 11 heures et demie au soleil, et à 4 heures 40 minutes elle n'était pas encore complétement fondue.

L'eau de fusion a été introduite alors dans un ballon par un siphon, dont l'extrémité de la petite branche plongeait de 5 centim. environ au-dessous de la surface de l'eau de la terrine qui contenait la glace; le ballon rempli, on a laissé écouler une certaine quantité d'eau pour éviter l'influence que l'air du ballon pouvait avoir eue sur elle pendant qu'elle y montait. Voici les nombres obtenus :

Pression atmosphérique	0m,7617
Température	9°,8
Le volume de l'eau qui a bouilli étant de	625 centim. cubes.
Le volume total de gaz recueilli a été de	17[1]
Acide carbonique	0.8
Oxygène	4.9
Azote	11.3

et pour 1 litre d'eau :

Volume total de gaz	27.20
Acide carbonique	1.28
Oxygène	7.83
Azote	18.10

Ces nombres diffèrent à peine de ceux fournis par la première expérience, et donnent lieu aux mêmes conclusions, avec cette seule différence que les proportions d'oxygène et d'azote pour 100 volumes sont dans le rapport de 30.2 à 69.8.

Ces trois analyses montrent que l'eau provenant de glace ou de neige qui s'est fondue à la température ambiante, renferme, après le temps nécessaire à la fusion, autant d'oxygène et d'azote que les eaux bien aérées, mais point ou presque point d'acide carbonique.

Ce premier point éclairci, nous avons à nous poser la ques-

1. Ces volumes sont réduits à 0° et à 0m,76 de pression.

Comparaison des températures du Rhin, de l'Ill, et de l'air à Strasbourg et à Kehl.

« La température de l'air à Strasbourg a été observée par « M. Bœckel.

« Celles de l'air et de l'eau au pont de Kehl ont été observées par « M. Faller, conducteur des travaux du Rhin, ou sous sa direction.

« Celle de l'Ill a été prise à l'écluse des pontonniers, n° 86, « par l'éclusier, et les résultats ont été recueillis par M. De- « cheppe, conducteur des ponts et chaussées.

« Chaque température a été prise trois fois par jour. Le ta- « bleau suivant contient les moyennes de 10 années complètes « pour chaque station :

Températures mensuelles du Rhin, de l'Ill et de l'air de 1850 à 1859.

MOIS ET SAISONS.	Air à Strasbourg.	Air au pont de Kehl.	Rhin au pont de Kehl.	Ill à Strasbourg.
Janvier	0.2	1.0	3.1	2.8
Février	1.0	2.5	3.5	3.5
Mars	4.3	5.3	5.7	5.9
Avril	10.3	10.8	9.5	10.9
Mai	14.5	14.3	12.8	14.8
Juin	19.8	19.2	17.2	18.6
Juillet	21.7	20.7	19.2	20.4
Août	20.9	19.7	19.1	20.2
Septembre	15.7	15.4	16.5	15.8
Octobre	10.7	10.8	12.9	12.2
Novembre	3.4	4.6	7.0	5.7
Décembre	0.8	1.8	4.5	3.3
Hiver	0.5	1.8	3.7	3.2
Printemps	9.7	10.1	9.3	10.2
Été	20.8	19.9	18.5	19.7
Automne	9.9	10.3	12.1	11.2
Année	10.2	10.5	10.9	11.2
Variation de l'hiver à l'été.	20.3	18.1	14.8	16.5

yeux, ils jettent du doute sur les résultats de l'essai dont je viens de parler.

Le mardi 19 juillet 1864, je me suis remis à prendre de l'eau distillée non aérée, et il s'est produit de nouveau une certaine lourdeur d'estomac et des dégagements gazeux.

Je dois ajouter, en présentant ces observations, les restrictions qu'elles me paraissent comporter.

1° Les résultats doivent dépendre du tempérament et de la constitution des personnes qui font ces expériences, qui ne me paraissent pas dangereuses, à la condition de n'être pas prolongées; il importe qu'elles soient répétées par des personnes d'âge, de sexe et de tempérament différents.

2° Il est à remarquer que l'attention que l'on prête à ces essais peut être la cause de certains effets qui n'auraient pas été obtenus, si l'esprit n'avait pas été fortement préoccupé des résultats que l'on attend.

3° Il faudrait, autant que possible, que le régime suivi fût simple et uniforme, que les mets fussent les mêmes pendant le temps où on fait usage de l'eau non aérée; il faudrait aussi s'abstenir de tout autre liquide qui pourrait modifier les résultats.

Je conseillerais d'ailleurs de faire usage non pas de l'eau obtenue par distillation dans des alambics en cuivre, qui a un goût désagréable et susceptible de provoquer des nausées, mais d'eau ordinaire non aérée.

4° Il faudra tenir compte des causes physiques et morales, qui pourraient avoir quelque influence sur le phénomène qu'on étudie.

Conclusions. — Il résulte de cette étude sur la présence de l'air dans les eaux :

1° Que l'air n'est pas nécessaire dans l'eau à une température élevée;

2° Que l'oxygène n'est pas nécessaire dans les boissons alcooliques;

M. Seeligmann a déterminé en 1859, chaque jour à 3 heures de l'après-midi, la température des eaux du Rhône à Lyon, entre le pont Morand et le pont du Collége, ainsi que la température atmosphérique, depuis le mois de juillet jusqu'au mois de novembre. Voici les résultats qu'il a obtenus [1] :

	Dates.	Atmosphère.	Rhône.		Dates.	Atmosphère.	Rhône.
Juillet. . .	8	28°,50	25°,50	Juillet. . .	16	30°,50	24°,50
	9	30°,50	25°,00		18	30°,00	24°,25
	10	31°,00	26°,50		19	32°,50	24°,25
	11	31°,00	24°,75	Août. . . .	17	24°,25	21°,00
	12	33°,00	25°,75		19	23°,75	21°,00
	13	34°,50	25°,75	Septembre	9	22°,50	18°,00
	14	36°,00	25°,75		10	22°,50	18°,00

Ces observations, faites pendant des chaleurs excessives, ont été continuées vers la fin d'octobre, et ont donné les résultats suivants :

	Dates.	Atmosphère.	Rhône.		Dates.	Atmosphère.	Rhône.
Octobre. .	24	11°,20	8°,40	Novembre.	5	15°,30	9°,60
	25	11°,80	8°,80		7	18°,40	10°,80
	26	10°,10	9°,10		8	14°,70	11°,00
	27	12°,80	9°,20		9	10°,80	9°,40
	28	10°,70	9°,00		10	7°,70	8°,40
	29	14°,40	9°,75		11	6°,40	7°,00
	31	14°,00	9°,75		12	3°,80	6°,20
Novembre.	2	14°,60	10°,60		14	3°,30	5°,40
	3	12°,00	9°,60		15	3°,00	3°,40
	4	16°,00	9°,40		16	5°,40	5°,20

J'extrais de l'*Annuaire des eaux de la France pour* 1851 [2] les nombres suivants relatifs à la Seine, à Paris : les observations, qui ne comprennent que les cinq derniers mois de 1850, ont été faites pour l'eau et pour l'air au pont des Invalides, par M. Bernard, conducteur des ponts et chaussées :

1. *Essai chimique sur les eaux potables*, 1er mémoire. Lyon, Savy, 1860, p. 17.

2. *Annuaire des eaux de la France pour* 1851. Paris, imprimerie nationale, 1851; t. Ier, p. 301 et suivantes.

Moyennes des mois.

	9 heures du matin.		4 heures du soir.	
	Air.	Eau.	Air.	Eau.
Août	18.1	18.5	21.3	19.2
Septembre. .	14.6	15.0	18.2	15.9
Octobre . . .	9.1	10.1	11.3	10.5
Novembre . .	8.6	8.4	10.4	8.7 (3 h. du soir).
Décembre . .	3.4	4.5	5.4	4.7 (3 h. du soir).

ROUEN. SEINE. 1850.

	9 heures du matin.		3 heures du soir.	
Octobre . . .	8.2	9.5	10.1	9.8
Novembre . .	7.3	8.7	9.1	8.8
Décembre . .	3.6	5.0	4.7	5.0

Il convient d'ajouter à ces chiffres le tableau suivant[1] tiré du rapport de MM. Poggiale, Tardieu et Boudet.

	Températures des eaux de la Seine.		
	En rivière.	Dans les réservoirs de Chaillot. Bassins découverts.	A la fontaine de la Boule rouge à 5 kilom. des réservoirs.
Août 1856 . .	24.50	24.70	23.60
Août 1857 . .	25.50	25.00	24.00
Juin 1858 . .	27.00	27.20	25.00
Juin 1859 . .	27.00	26.20	25.00

J'emprunte à M. Grellois[2] le tableau relatif aux températures de la Moselle et de l'air environnant.

« L'eau de rivière, dit M. Grellois, suit en général les courbes « de la température extérieure, ainsi qu'on peut s'en con- « vaincre par le tableau suivant, qui représente pour 9 heures « du matin les *maxima*, les *minima* et les moyennes de la « température extérieure et de celle de la Moselle, observées « à Thionville en 1857.

1. *Gazette médicale de Paris*, t. XVII, p. 739.
2. *Études hygiéniques sur les eaux potables*, 1859, p. 36.

MOIS.	TEMPÉRATURE DE LA MOSELLE.			TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE.		
	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.
Décembre 1856.	6.8	1.4	3.79	12.6	— 3.0	3.02
Janvier 1857 . .	5.5	0.6	3.14	5.3	— 5.0	1.00
Février	5.2	0.1	2.86	6.5	— 6.9	0.34
Mars	8.3	2.2	5.57	11.5	— 3.9	4.17
Avril	13.9	6.3	9.72	14.9	3.8	8.96
Mai	21.2	7.3	15.40	21.7	9.1	15.29
Juin.	23.6	15.4	19.22	24.4	13.0	18.76
Juillet.	24.1	17.7	20.91	24.3	16.0	20.46
Août	24.3	17.9	20.40	26.6	15.5	20.67
Septembre . . .	20.0	13.7	17.25	20.0	11.2	16.67
Octobre.	16.8	9.8	12.29	15.8	5.4	11.36
Novembre. . . .	11.0	1.7	6.21	12.8	— 0.9	5.37
Moyennes . . .	15.06	7.82	11.40	16.37	4.48	10.50

« On voit que les *maxima* s'élèvent davantage dans l'air que « dans l'eau, mais avec une faible différence (1°,31); la tempéra- « ture *minima*, au contraire, est plus élevée dans l'eau que dans « l'air, avec une assez grande différence (3°,34). Enfin les « moyennes de l'eau sont plus élevées que celles de l'air (diffé- « rence 0°,9). »

§ 2. Eaux des sources.

On a admis longtemps que la température des sources représentait exactement la température moyenne du lieu où on l'observe; mais il est clair qu'elle doit dépendre aussi de la constitution géologique du sol, des conditions climatériques, de l'altitude du point d'émergence, et enfin de la profondeur de la couche d'où la source provient; néanmoins les écarts qu'elle présente relativement à la température moyenne de l'air sont généralement peu étendus.

Dupasquier a trouvé que la température des eaux de source[1] de la rive gauche de la Saône, observée le 23 juin 1839, à

1. Qu'on se proposait d'employer pour la distribution de Lyon.

une température atmosphérique de 27°, à 10 heures du matin, et de 30°, à 2 heures de l'après-midi, était[1] pour :

La source de Roye de	13°	dont la moyenne est
La source de Ronzier de. . . .	12°,2	12°,5, tandis que la
La source de Fontaine de . . .	12°	moyenne annuelle à
La source de Neuville de . . .	13°	Lyon est de 12°,4.

La température de l'eau de ces quatre sources reste à peu près constante pendant toute l'année. La seule variation que l'on ait pu observer est celle d'environ 1°. Cette eau, en effet, marque au maximum 13°,2 et 12 au minimum.

La source du Rosoir, que Darcy a conduite de Messigny à Dijon, présente au sortir de la montagne une température constante de 10°, qui diffère peu de la température moyenne de Dijon, déterminée de 1845 à 1859 par M. A. Perrey, et qu'il a trouvée égale à 10°,50[2]. Mais ce qu'il importe de remarquer, c'est qu'elle a pu être transportée par un aqueduc de 14,205 mètres de longueur, recouvert, il est vrai, par de la terre sur une épaisseur de 1 mètre environ dans presque toute sa longueur, sans que sa température ait varié d'une manière notable de Messigny à Dijon.

Je dois dire toutefois que dans la distribution il s'est produit de légères variations de température, tenant à ce que l'eau qui part du réservoir et qui circule dans les conduits enfouis dans le sol participe plus ou moins de la température du sol.

Les observations ont été faites par M. le professeur Perrey avec un thermomètre de Bunten, qui permettait d'apprécier la température à un dixième de degré près, et qui se mettait en équilibre de température en moins d'une minute avec l'eau dans laquelle on le plongeait. Les bornes-fontaines étaient ouvertes une heure avant l'observation.

Le tableau suivant[3], qu'il m'a semblé utile de faire connaître,

1. Dupasquier, *Des eaux de source et des eaux de rivière*, p. 266 et 159.
2. Voir ses *Tableaux d'observations météorologiques, pour* 1859.
3. Darcy, *les Fontaines publiques de la ville de Dijon*. Paris, V. Dalmont, p. 87.

donne les résultats obtenus du 23 juin au 13 avril pour l'air, le réservoir de la porte Guillaume et les bornes-fontaines.

Dates.	Température moyenne de l'air.	de l'eau du réservoir.	de l'eau des bornes-fontaines.
1847. 23 juin.	16	11.2	12.3
10 juillet.	20.9	11.5	12.7
24 juillet.	20.8	12.1	13.2
10 août.	16.6	12.3	13.5
30 novembre. . . .	5	11	10.6
18 décembre. . . .	1.7	10.8	9.9
1848. 3 janvier	— 2.1	10.2	9.2
24 et 25 janvier. .	— 3	9.4	8.6
22 février	4.5	8.6	7.8
13 avril	11	10.1	9.9

M. Daubrée a donné, dans sa *Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin*[1], une étude remarquable sur la température des sources de ce département; en raison de son importance, je crois devoir la citer intégralement:

« La plupart des sources de nos climats qui arrivent au jour « sans se mélanger à des eaux superficielles ne subissent an« nuellement, dans leur température, que de faibles variations « qui, en général, ne dépassent pas quelques dixièmes de de« gré. Une seule observation peut donc déjà faire connaître ap« proximativement la température moyenne d'une source placée « dans ces conditions, surtout si son volume d'eau est consi« dérable et ne varie pas beaucoup dans le courant de l'année. « Il n'en est pas ainsi des sources dont les réservoirs sont peu « profonds; plusieurs d'entre elles dérivent, en effet, d'infiltra« tions d'une rivière ou d'un ruisseau peu éloigné. Tel est le « cas pour des sources qui sortent des sables diluviens, entre « Bischwiller et Soufflenheim; quoiqu'elles soient très-abon« dantes, leur température varie selon les saisons de 8° à 12°,5.

« Le tableau ci-joint résume une partie des observations que « j'ai faites sur les sources de la vallée du Rhin avec un ther« momètre fort exact :

1. P. 355.

Température des sources situées à différentes altitudes dans le département du Bas-Rhin.

DÉSIGNATION DE LA SOURCE.	Altitude approximative.	Température.	Terrain d'où sort la source.	OBSERVATIONS.
	Mètres.	Dg. cent.		
Source du Rauschendwasser près Niederbronn	180	10.6	Grès bigarré.	Ces puits ont de 12 à 20 mètres de profondeur.
Source de la forêt de Frohret près Niederbronn	185	10.5	Marnes irisées.	
Forte source dans la vallée de Dossenheim près du Zellerhof.	190	10.5	Grès des Vosges.	Ces deux sources sont situées au fond d'une vallée de la chaîne des Vosges.
Autre forte source près de la précédente	195	10.5	(*Idem.*)	
Source de Niederbronn à l'extrémité orientale de la ville.	195	10.3	Muschelkalk.	
Source de Wimmenau	200	10.6	Grès des Vosges.	Cette source sort aussi au fond d'une vallée de la chaîne des Vosges.
Sources de Kintzheim	200	10.7	Jonction du granit et du muschelkalk.	
Sources des environs de Lembach	210	10.2	Muschelkalk.	
Sources de Bonnefontaine, commune d'Altwiller	215	10.3	Marnes irisées.	Ces sources sont vulgairement qualifiées d'eaux minérales.
Source du bas de la ville de Bouxwiller (Fischpfuhl)	220	10.5	Calcaire oolithique inférieur.	
Source de Weiterswiller	224	10.5	Grès des Vosges.	
Source d'Orschwiller	225	10.7	Granit.	
Source d'Avenheim	230	10.8	Keuper.	
Source salée de Diemeringen	230	10.6	Muschelkalk inférieur.	
Source salée du même village	230	10.1	(*Idem.*)	
Source du hameau de Graufthal près d'Eschbourg	240	10.3	Grès des Vosges.	
Source du pied du Bastberg près de Bouxwiller	260	10.4	Calcaire d'eau douce.	
Forte source jaillissant dans l'intérieur de la mine de Bouxwiller au pied du plan incliné	»	10.3	(*Idem.*)	
Source de Wingen près de Lembach	260	10.2	Grès bigarré.	
Source de Niederhaslach	270	10.3	Muschelkalk inférieur.	
Source de Durstel	275	10.2	Muschelkalk.	

DÉSIGNATION DE LA SOURCE.	Altitude approximative.	Température.	Terrain d'où sort la source.	OBSERVATIONS.
	Mètres.	Dg. cent.		
Source dite Sandbrunnen à l'ouest du Klingenthal	280	10.2	Grès des Vosges.	
Source de Siewiller	280	10.1	Muschelkalk.	
Source de Hægen	280	9.6	Grès des Vosges.	
Source de Marienbronn près Lobsann	290	10.4	(*Idem.*)	Cette source sort sur la faille terminale du grès de Vosges.
Source d'Erlenhoff près de Thal.	290	9.0	(*Idem.*)	
Source de Honcourt près de Villé.	300	9.5	Schiste de transition.	
Source de Neufbois	300	9.1	Grès rouge.	
Source dite Teufelsbrunnen, dans la forêt de Villé	320	9.7	(*Idem.*)	
Source près de Petersbach	330	9.4	Muschelkalk.	
Source de Meisengott	360	8.6	Terrain de transition.	
Source de la Moder, à Moderfeld.	375	8.6	Grès des Vosges.	
Source située au pied du Haut-Kœnigsbourg (revers septentrional)	390	8.6	Terrain houiller.	
Autre source de la base du Haut-Kœnigsbourg	550	7.6	Grès des Vosges.	
Source du Bacpré, commune de Solbach	560	8.0	Granit.	
Source du Hohwald à la montée du Champ du feu	600	7.5	(*Idem.*)	
Autre source située non loin de la précédente	620	7.2	Syénite.	
Source de la base du Climont	700	7.1	Grès des Vosges.	
Autre source de la base du Climont	750	6.4	(*Idem.*)	
Source du Schæfferlager au Hohwald	780	7.2	Granit.	
Source à un kilomètre au sud de la maison forestière de la Rothlach (Champ du feu)	820	6.1	Syénite.	
Source de la Katzmatt (Champ du feu)	850	6.5	Diorite.	
Source de la Magel (Champ du feu)	880	6.6	Granit.	
Source de la maison forestière de la Rothlach (Champ du feu)	920	5.8	(*Idem.*)	

« Comme faits généraux ressortant de ce tableau, on peut « signaler les suivants :

« 1° Les sources situées dans la plaine, les collines basses de « l'Alsace ou les vallées des Vosges ne diffèrent pas, en général, « dans leur température moyenne de plus de 0°,8, lorsqu'elles « sont à égale hauteur au-dessus de la mer. Il est remarquable « de trouver autant d'uniformité dans la température d'eaux « qui sortent de terrains variés dans leur nature, dans leur re- « lief et dans leur exposition. Les sources minérales font ex- « ception à cette règle.

« La nappe d'eau qui imbibe le gravier de la plaine du Rhin « possède, à Strasbourg, une température moyenne de 10°,2, « qui est un peu inférieure à celle des sources proprement « dites.

« 2° La température des eaux diminue à mesure que l'on s'é- « lève. Si l'on construit une ligne dont les abscisses représen- « tent la température des sources, et dont les ordonnées soient « proportionnelles aux altitudes de celle-ci au-dessus de la « mer, on voit que la ligne ainsi déterminée s'éloigne notable- « ment de la ligne droite, ce qui montre que le décroissement « dans la température des sources n'est pas tout à fait uniforme « à mesure que l'on s'élève. Dans la plaine et dans les collines « de hauteur inférieure à 280 mètres, le décroissement n'est « à peu près que de 1° par 200 mètres; de 280 mètres à « 360 mètres d'altitude, la diminution est beaucoup plus ra- « pide, elle est de 1° par 120 mètres; à partir de 360 mètres « et jusqu'à 920 mètres, le décroissement redevient le même « que dans la plaine, c'est-à-dire approximativement 1° par « 200 mètres. C'est quand on quitte le sol à ondulations douces « pour passer aux pentes abruptes des montagnes que le dé- « croissement devient plus prononcé.

« 3° Dans la partie de la vallée du Rhin à laquelle, à ses di- « verses hauteurs, sont relatives ces observations, la tempéra- « ture moyenne des sources est de quelques dixièmes de degré

« au-dessus de celle de l'air. Une différence de température « dans le même sens a été observée dans les contrées cen- « trales de l'Europe, où il tombe plus d'eau en été qu'en hiver; « la différence est en sens inverse dans les contrées méridio- « nales qui reçoivent à peu près toute leur pluie pendant la sai- « son d'hiver, ainsi que M. de Humboldt l'a reconnu le premier.

« Dans les Vosges et dans la Forêt-Noire, l'élévation de la « température des sources au-dessus de celle de l'air paraît « être d'autant plus considérable qu'on s'élève davantage.

« M. Arago a montré depuis longtemps que la température « des fontaines artésiennes est supérieure à la température de « la surface, et que l'augmentation de température est, en « général, en raison de 1° centigr. pour 20 ou 30 mètres de « profondeur [1]. Si on laisse de côté certaines sources qui sor- « tent de failles, on est surpris de ne pas rencontrer dans les « terrains stratifiés des sources dont la température dépasse la « température de l'air de plus de 1°,6; pour la plupart, la dif- « férence est même au-dessous de 1°. La faiblesse de cet ex- « cédant de température paraît résulter de ce que la tempéra- « ture des eaux qui s'infiltrent se propage jusqu'à une assez « grande distance de la surface, et que, d'ailleurs, les réser- « voirs des sources sont généralement peu profonds. »

MM. Commaille et Lambert [2] ont pris à Rome la température des eaux de certaines sources qui alimentent cette ville et qui y sont amenées par des aqueducs ou s'échappent du sol même; ils ont trouvé :

	Température.	Température de l'air.
Eau Felice.	16°,00	28° (5 juillet).
Eau Vergine ou de Trevi. . .	14°,00	22°
Eau Pauline.	23°,00	35° (maximum).
Eau Argentine	15°,00	En septembre, source près du Forum.
Eau du Soleil.	15°,25	Source des jardins Colonna.

1. *Annuaire du bureau des longitudes pour* 1835, p. 235.

2. *Recherches sur les eaux potables et minérales du bassin de Rome* (ouvrage cité).

Il est regrettable que la température des trois premières sources n'ait pas pu être prise au sortir du sol; il aurait été intéressant de comparer les températures de chacune d'elles au point de départ et au point d'arrivée, pour étudier l'influence que le mouvement de l'eau dans les aqueducs peut avoir sur la température.

Néanmoins il est intéressant de remarquer qu'à part l'eau Pauline, qui présente une exception, tenant probablement à ce qu'elle vient en partie des lacs Bracciano et Martignano, la température des cinq autres sources est sensiblement la température moyenne de Rome, c'est-à-dire 15°,4[1].

§ 3. Eau des lacs.

J'aurais désiré donner pour l'eau de quelques lacs les moyennes des températures à la surface pour les divers mois de l'année; mais je n'ai trouvé à ce sujet que des renseignements insuffisants; je me bornerai donc à citer un passage de la *Physique du sol de la France*, par A. Bravais[2] :

« La température du lac de Genève a été observée par « de Saussure et de La Bèche. Le premier de ces physiciens « observait en février : il trouva qu'à une profondeur de 100 « à 200 mètres la température était à peu près constante et « égale à + 5°,2. Le second a trouvé de 120 à 150 mètres de « profondeur, dans le même lac et vers le 25 septembre, une « température constante de 6°,4. Ainsi la température moyenne « du fond du lac est d'environ 6°. La température de la sur- « face varie, au contraire, beaucoup de l'été à l'hiver, et sa « moyenne surpasse celle de l'air. Au lac de Joux, très-voisin « de la frontière française, de Saussure a trouvé, le 15 juillet,

1. Voir la table de M. Mahlmann dans les *Recherches d'A. de Humboldt sur les chaînes de montagnes et la climatologie comparée de l'Asie*, et reproduite dans le *Cours complet de météorologie* de Kæmtz, traduit et annoté par Ch. Martins. Paris, Paulin, 1843, p. 184.

2. *Patria*. Paris, Dubochet-Lechevalier, 1847, p. 151.

« 13°,0 à la surface, et 10°,7 à 26 mètres de profondeur[1]. Au « fond des lacs du Bourget et d'Annecy (78 mètres et 53 mè- « tres), la température a été trouvée de 5°,6. »

J'ajoute que, le 13 août 1767, de Saussure[2], plongeant un thermomètre à mercure dans le lac de Genève à 1 pied au-dessous de la surface, obtenait 23°,44 à 10 heures et demie du matin, et 25°,62 à 3 heures et quart de l'après-midi. Le même thermomètre, suspendu dans l'air à 1 pied au-dessus de l'eau, donnait 27°,50 à 10 heures et demie, et 28°,75 à 3 heures et quart.

§ 4. Eau des puits.

Les puits aboutissent, en général, à une nappe d'eau souterraine qui est en relation avec les fleuves et les rivières qui sont dans leur voisinage. Cette nappe est plus ou moins profonde, selon la constitution géologique du sol, et par suite sa température sera plus ou moins dépendante de celle de l'air ambiant.

Néanmoins il est facile de voir qu'en général ses variations devront être beaucoup moins étendues que celles de l'air.

Il en résulte que la température des puits pourra varier annuellement, mais dans des limites beaucoup plus resserrées que celle de l'air; dans d'autres cas elle pourra être sensiblement constante et s'écarter très-peu de la température moyenne de l'air.

Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'il n'est pas question ici des puits artésiens qui proviennent de nappes généralement plus profondes, dont les eaux sont à une température plus élevée et sensiblement constante.

Comme exemple des variations de température des puits,

---

1. La température de l'air était de 13°,50. De Saussure, *Voyage dans les Alpes*. Neuchâtel, Fauche, 1779, t. I, p. 308.

2. Même ouvrage, t. I, p. 19.

je citerai le passage suivant des *Observations sur la météorologie de Strasbourg*, de M. le professeur Bertin[1].

« Depuis 1815, M. Herrenschmeider a pris, deux fois par « mois, le 1er et le 15, la température de l'eau de son puits à « 5 mètres de profondeur.

« Les moyennes de 18 années (1815—1832), calculées d'a- « près M. Eisenlohr, ont donné les résultats suivants :

MOIS ET SAISONS.	Température moyenne de l'air.	Température d'un puits à 5 mèt. au-dessous du sol.
Décembre	2.0	9.4
Janvier	— 0.5	8.3
Février	2.3	7.7
HIVER	1.3	8.5
Mars	5.6	8.4
Avril	9.5	8.8
Mai	14.8	9.4
PRINTEMPS	10.0	8.9
Juin	17.3	10.1
Juillet	18.8	10.8
Août	18.3	11.5
ÉTÉ	18.1	10.8
Septembre	14.8	11.7
Octobre	10.0	11.5
Novembre	5.2	10.4
AUTOMNE	10.0	11.2
ANNÉE	9.8	9.8

« On voit que :

« 1° La température moyenne de la couche de 5 mètres est « la même qu'à la surface;

« 2° Le mois le plus chaud est septembre, 11°,7;

« Le mois le plus froid est février, 7°,7.

1. *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Strasbourg*, t. V, 1re livraison, p. 10 et 13.

« La différence des mois extrêmes n'est donc que de 4°, « tandis qu'à l'air elle est de 19°: l'eau des puits a donc une « température beaucoup plus constante que l'air.

« 3° Les époques du maximum et du minimum sont retar- « dées. Tandis que, à la surface, les mois à températures ex- « trêmes sont ceux qui suivent les solstices, à 5 mètres, ce « sont presque les mois équinoxiaux. »

Herrenschneider n'ayant pas indiqué la marche qu'il a suivie pour la détermination de la température de l'eau de son puits, je ferai suivre le tableau précédent de celui dressé par M. Hepp[1] pour un puits situé à 170 mètres de l'Ill qui avait $7^m,35$ de profondeur et 3 mètres de hauteur d'eau.

« Ce tableau indique que l'eau non renouvelée subit dans les « puits l'influence de la température extérieure par le contact « direct de l'air et du corps de pompe, mais que, en faisant « appel aux couches profondes de l'eau par un épuisement « prolongé, on obtient une température constante pour une « série de jours. »

Dates.	Température de l'air.	Température de l'eau avant l'épuisement.	Température de l'eau après l'épuisement.
Janvier 19. . . .	— 12°	+ 8°	+ 11°,10
20. . . .	— 6°	+ 7°,05	+ 11°,10
21. . . .	— 8°	+ 8°	+ 11°,10
22. . . .	+ 1°	+ 9°	+ 11°,10
23. . . .	+ 1°	+ 11°	+ 11°,10
24. . . .	— 0°,50	+ 10°	+ 11°,10
25. . . .	— 1°	+ 9°	+ 11°,10
26. . . .	+ 5°,75	+ 10°	+ 11°,10
27. . . .	+ 2°,50	+ 9°,05	+ 11°,10
28. . . .	+ 4°,09	+ 11°	+ 11°,10
29. . . .	+ 2°	+ 9°,05	+ 11°,10
30. . . .	— 0°,50	+ 9°	+ 11°,10
31. . . .	— 2°		+ 11°,10
Février 1er. . . .	— 1°,20	+ 9°	+ 11°,10
15. . . .	+ 1°,5	+ 9°	+ 11°,10
16. . . .	+ 4°	+ 10°	+ 11°,10

1. *Hydrologie médicale*, p. 84.

« Il résulte des nombres précédents qu'avant l'épuisement « les variations ont été de + 7°,50 à + 11°; après un épuise- « ment notable, on a toujours obtenu une eau à + 11°,1.

« Voici les résultats constatés sur d'autres points de la vallée « du Rhin :

	Profondeur du puits.	Variations annuelles.	Température moyenne.
Dusseldorf . . .	8m,30	3°,350	+ 9°,81
Cologne	16m,30	0°,912	+ 10°,20
Bonn	19m,30	0°,750	+ 10°,68

J'ai obtenu pour les puits de la cour et de la cuisine du Lycée de Strasbourg :

	Temp. de l'air.	Puits de la cuisine foré[1].	Puits de la cour[2].
9 juin 1864	18°,30	11°,58	12°,10

La température de l'eau avait été prise dans les deux cas après un épuisement de 1 hectolitre environ.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer que la température moyenne des puits devra varier avec la latitude et s'écarter assez peu de la température moyenne de chaque lieu.

Il m'a paru intéressant de comparer à diverses époques de l'année les températures de l'eau d'un fleuve, des galeries filtrantes établies dans son voisinage et des réservoirs que ces galeries doivent alimenter; j'emprunte en conséquence à M. Seeligmann[3] le tableau qu'il a donné pour le Rhône à Lyon de ces diverses températures :

Dates.		Rhône.	Galeries filtrantes.	Réservoirs.
1857. Avril .	7	12°,50	13°,00	13°,00
	21	13°,00	12°,00	12°,00
Mai . .	1er	9°,25	11°,00	10°,75
	18	18°,00	13°,00	13°,00
Juillet.	3	17°.00	15°,50	15°,25

1. Profondeur du puits, 10m,80; hauteur de l'eau, 7m,30.

2. Profondeur du puits, 8m,50 (à partir d'un niveau plus élevé que le précédent); hauteur de l'eau, 1 mètre.

3. *Essai chimique sur les eaux potables*, 1er mémoire. Lyon, Savy, 1860, p. 19.

	Dates.	Rhône.	Réservoirs	Bassin du bas service.[1]
1859. Juillet . .	8. . . .	25°,50	14°,00	17°,50
	9. . . .	25°,00	13°,50	19°,00
	10. . . .	24°,50	13°,50	17°,75
	11. . . .	24°,75	13°,50	17°,75
	12. . . .	25°,75	15°,50	18°,00
	13. . . .	25°,75	13°,75	18°,25
	14. . . .	25°,50	14°,00	18°,50
	18. . . .	24°,25	14°,00	18°,25
	19. . . .	24°,25	14°,00	18°,25
Octobre .	24. . . .	8°,40	13°,90	
	25. . . .	8°,80	13°,40	
	26. . . .	9°,10	13°,30	
	27. . . .	9°,20	14°,00	
	28. . . .	9°,00	13°,70	
	29. . . .	9°,75	14°,20	
	31. . . .	10°,00	14°,00	
Novembre	2. . . .	10°,60	14°,40	
	3. . . .	9°,60	13°,85	
	4. . . .	9°,40	14°,60	
	5. . . .	9°,60	13°,80	
	7. . . .	10°,80	14°,00	
	8. . . .	11°,00	13°,90	
	9. . . .	9°,40	14°,00	
	10. . . .	8°,40	14°,00	
	11. . . .	7°,00	13°,10	
	12. . . .	6°,20	11°,00	
	14. . . .	5°,40	11°,40	
	15. . . .	4°,00	10°,00	
	16. . . .	5°,20	11°,80	

§ 5. Eau de pluie.

Je ne sache pas qu'on ait cherché aux diverses époques de l'année la température de l'eau de pluie au moment de sa chute, et cependant cette recherche est digne d'intérêt, parce

1. Les températures du bassin du bas service sont plus élevées que celles des réservoirs, parce qu'en été les galeries de filtration ne suffisant plus à la consommation, la Compagnie des eaux se voit forcée de mêler l'eau de filtration à l'eau prise directement dans le Rhône.

qu'elle pourrait nous fournir quelques données sur la température des nuages d'où elle provient. Cette eau, lorsqu'elle doit servir comme eau potable, est reçue dans des réservoirs et passe de là dans des citernes situées plus ou moins profondément dans le sol[1], où sa température doit se rapprocher de la température des puits, variant à peu près dans le même sens et les mêmes limites.

Je ne connais aucun tableau des températures mensuelles moyennes de l'eau des citernes. C'est une lacune regrettable que l'on comblera, je l'espère, ainsi que celle relative aux températures des eaux de pluie[2].

On conclura des tableaux qui précèdent qu'au point de vue de la variabilité annuelle de leur température, les eaux doivent être rangées dans l'ordre suivant en commençant par les plus variables:

1° Eaux des fleuves et des rivières;

2° Eaux des puits;

3° Eaux des sources.

En attendant que nous ayons des tableaux de températures de l'eau des lacs, je crois qu'on peut provisoirement les réunir pour la variabilité de la température aux eaux de fleuve ou de rivière.

Quant aux eaux de pluie, au moment où elles viennent de tomber, je les considère, jusqu'à plus ample informé, comme devant se placer à côté des eaux de fleuve ou de rivière, et lorsqu'elles ont pénétré et séjourné pendant un certain temps dans des citernes suffisamment profondes, elles me semblent devoir se comporter comme les eaux de puits.

1. Voir au sujet de l'installation des citernes de Venise, l'ouvrage du docteur Grimaud, de Caux, *Des eaux publiques*, Paris, Dezobry, 1863, in-8°, p. 223.

2. Je citerai une observation faite le 10 juillet 1863. Un orage éclate vers midi; la pluie tombe fortement vers 1 heure. Un thermomètre abrité donne 22°,2; un autre thermomètre tenu au milieu de la pluie donne 16°; différence 6°,2.

Il est manifeste d'ailleurs que quand une eau, quelle que soit sa provenance, aura été puisée et placée dans un lieu dont la température ne diffère que peu de celle de l'air ambiant, la température de cette eau se modifiera successivement jusqu'à atteindre, à peu de chose près, la température ambiante.

Cette observation a son importance, car il arrive souvent que l'eau que l'on boit n'est pas de l'eau immédiatement puisée, mais de l'eau qui, ayant séjourné dans des vases en terre, en bois ou en verre, a une température qui se rapproche plus ou moins de la température de l'air.

Il ne sera pas inutile de faire remarquer, au sujet des tableaux qui précèdent, que quoiqu'ils soient relatifs à des localités déterminées, les résultats qu'on en déduit pourront vraisemblablement s'appliquer, sans grands écarts, à un lieu quelconque dont la moyenne et les extrêmes de température seront connus.

Après les emprunts nombreux que je viens de faire pour montrer quelles sont les températures des diverses eaux employées comme boisson, j'arrive à la partie délicate de ma tâche dans ce chapitre, à celle relative à l'appréciation de la température qui convient le mieux à l'eau quand elle doit être employée comme boisson.

Ici on a en général cité Hippocrate et copié Dupasquier, qui l'a commenté longuement.

On a répété continuellement, d'après Hippocrate, que les eaux devaient être chaudes en hiver et froides en été[1], et de là on a tiré cette conséquence que les eaux de source devaient être préférées au point de vue de la température, puisqu'elles remplissent généralement ces deux conditions.

Mais on ne doit pas perdre de vue la variation considérable de la température moyenne aux diverses latitudes; d'après les

1. Hippocrate, *Traité des airs, des eaux et des lieux*, trad. par le docteur Daremberg. Paris, Charpentier, 1843, p. 201.

considérations que nous avons présentées plus haut, la température des eaux de source peut varier de 0 à 28°, et, comme on le voit, si on fixait une certaine température comme devant convenir dans tous les cas, on s'exposerait à ne pouvoir satisfaire à la condition qu'on se serait imposée, puisque la température-type qu'on aurait choisie convenant à un pays manquerait à tous les autres.

On devra donc interpréter la formule d'Hippocrate en disant qu'il conviendra de boire dans chaque pays des eaux dont la température s'écartera peu de la température moyenne de ce pays.

Mais de la proposition ainsi formulée se déduit immédiatement cette conséquence que la température des eaux qui convient le mieux à une population est le résultat de l'habitude et non pas d'une nécessité absolue, impérieuse à laquelle il serait dangereux de ne pas obéir. Une habitude peut se modifier, et je considère comme certain qu'on pourrait sans inconvénient arriver à boire de l'eau qui serait à la température ambiante, quelque élevée qu'elle fût, à la seule condition que cette eau fût exempte de matières organiques plus ou moins altérées. Je crois que le tableau tracé par Dupasquier[1], des effets débilitants de l'eau qui n'est pas fraîche et des maladies qu'elle peut engendrer, doit s'appliquer uniquement aux eaux qui renferment des matières organiques en voie de transformation. Nul n'honore plus que moi le talent et le caractère du savant chimiste de Lyon; mais je crois qu'il a cédé à une illusion en insistant si longuement sur les avantages de la température des eaux de source comparées à celles des eaux de rivière.

Mes arguments contre la *nécessité* de l'eau fraîche seront empruntés aux faits suivants.

Je commence par faire remarquer que pour beaucoup de

1. *Des eaux de source et des eaux de rivière*, p. 83.

personnes dont la santé est excellente, la majeure partie de l'eau qu'elles consomment est chaude, sous la forme de bouillon, de café, de grog ou de thé.

En second lieu, l'eau que nous prenons pure est bien souvent à une température qui n'est pas très-éloignée de la température ambiante; depuis le moment où elle a été puisée et où elle a été placée sur une table, sa température s'est successivement relevée, et après une heure, elle a déjà quelques degrés de plus qu'au début.

En troisième lieu, des populations entières, dans certaines parties de la Chine, par exemple, n'ayant que de l'eau de mauvaise qualité, la prennent chaude, très-légèrement aromatisée par le thé et ne boivent pas d'eau froide, alors même qu'elle aurait été bouillie[1]. Comme ils se portent fort bien, il faut en conclure que l'élévation de température de l'eau ne leur est pas contraire et qu'on peut accoutumer l'estomac à ne recevoir que des boissons chaudes sans aucun inconvénient.

Je ne puis contester que nous ayons le goût de l'eau fraîche en été et que nous la préférions à l'eau relativement chaude; mais si nous étions obligés de boire cette dernière, elle ne produirait aucun accident et l'estomac s'y habituerait à la condition qu'elle fût exempte de matières organiques.

Pour ce qui concerne les températures très-basses de l'eau, je rappellerai l'observation de de Saussure sur l'usage de l'eau de glace ou de neige fondue qui est généralement froide.

L'estomac peut donc s'habituer à l'eau très-fraîche et n'en être aucunement incommodé. Sans doute il arrivera souvent que l'eau, après avoir été puisée aux sources et aux torrents, ne sera pas bue immédiatement et que sa température pourra se relever plus ou moins; mais il arrive toutefois, très-fréquemment, qu'on est obligé d'en boire sur place. Or, si le

1. Lettre de M. le pasteur Juillard, attaché à l'expédition de Chine.

corps n'est pas dans des conditions défavorables, la fraîcheur de cette eau ne troublera aucune de ses fonctions.

Je dois ajouter qu'on a l'habitude, dans le Midi et dans diverses parties de l'Italie, de faire usage de glace pour rafraîchir l'eau et le vin dont la température s'éloigne le plus souvent très-peu de zéro au moment de la consommation.

Il est donc permis de dire qu'on peut en général et *habituellement* boire de l'eau ou chaude ou froide ou à température intermédiaire, sans en être incommodé et d'autant mieux que l'estomac y aura été plus accoutumé.

Il me reste à discuter une autre question qui est en relation étroite avec la précédente.

De deux choses l'une: ou l'eau ne renferme pas de matières organiques, ou elle en renferme. Si elle n'en contient pas, elle peut être prise impunément, sauf le cas de dégoût, à toute température. Si elle renferme des matières organiques, il faut distinguer deux cas: ou ces matières, qui ne sont pas vénéneuses en général, n'ont pas éprouvé d'altération, ou bien elles sont en voie de transformation.

1° Si ces matières ne sont pas en décomposition, en général elles ne seront pas nuisibles. 2° Si elles sont dans la période d'altération, elles pourront avoir des effets fâcheux sur l'économie, ce que des faits nombreux établissent et ce que l'observation avait fait connaître à Hippocrate, qui proscrit d'une manière absolue les eaux des marais et des étangs[1]. Or, dans le premier cas comme dans le second, l'élévation de la température favorise la décomposition des matières organiques au contact de l'air, de sorte qu'il peut arriver alors que l'eau soit nuisible, non par le fait de sa température, mais parce que, sous l'influence d'un accroissement de chaleur, il s'y est développé des principes qui, en pénétrant dans l'économie, sont susceptibles d'y produire des désordres graves.

---

1. *Hippocrate*, trad. de Daremberg, p. 199 et 200.

En conséquence, à ce point de vue, il faut autant que possible éviter d'employer comme boisson, en été du moins et pour tous les pays, de l'eau dont la température a pu s'élever à la température ambiante et qui a séjourné quelques heures dans des récipients ouverts. Il sera donc sage, pour le motif que nous indiquons, de la faire puiser au moment où on voudra la boire, de la renfermer dans des vases en verre, en grès ou en argile, d'éviter les baquets ou les brocs en bois, de supprimer partout les tuyaux d'aspiration et les corps de pompe en bois des puits.

Je ne connais pas d'expériences qui établissent d'une manière certaine la limite de température au-dessous de laquelle les matières organiques contenues dans les eaux peuvent résister à une décomposition, et ce n'est pas sans surprise que j'ai lu le passage suivant dans le rapport[1] de MM. Poggiale, Boudet et Tardieu : « Tant que la température atmosphérique « se maintient au-dessous de 15° à 20° centigr., les matières « végétales et animales contenues dans les eaux n'éprouvent « *aucune altération*, celles-ci présentent même tous les carac- « tères des eaux de bonne qualité; mais dès que sa tempéra- « ture s'élève à 20° ou 25° et que l'eau est renfermée quelque « temps dans les réservoirs, la fermentation putride produit « des *principes gazeux*, lesquels, en pénétrant dans l'économie, « donnent naissance aux affections du tube digestif. »

Les auteurs du rapport admettent qu'au-dessous de 15° ou de 20°, il n'y a pas d'altération des matières organiques en suspension dans les eaux, tandis qu'il y aurait fermentation de 20° à 25°, et, bien entendu, aux températures supérieures. Je ne puis admettre la limite qui est ici fixée, parce que aucun fait positif ne me démontre qu'il est impossible qu'une matière organique quelconque en présence de l'eau ne s'altère au-dessous de 20° ou de 15°. Tout porte à supposer que l'altéra-

1. *Gazette médicale*, 3e série, t. XVII, p. 737.

tion se produira, en exigeant sans doute un temps plus long, lorsque la température sera plus basse. Sur ce point, d'ailleurs, il n'y a qu'une marche rationnelle à suivre: c'est l'expérience. Or voici les essais que font souvent les micrographes quand ils étudient les infusoires. Ils maintiennent leurs infusions à des températures comprises entre 0 et 30°; souvent ces infusions sont à des températures inférieures à 10° et donnent des résultats qui indiquent la décomposition de la matière organique.

Les observations que je viens de faire montrent, si je ne m'abuse, l'intérêt et l'importance des recherches microscopiques dont le plan a été tracé dans le deuxième paragraphe du premier chapitre de ce mémoire.

Il peut arriver dans certains pays, dans certaines parties de la Chine, par exemple, que les sources et les puits fassent généralement défaut; on n'a comme ressource, dans ce cas, que l'eau des fleuves et des rivières, ou l'eau de pluie dont la température peut s'élever et favoriser la décomposition des matières organiques. L'instinct de la conservation a fait trouver aux populations un remède à ce mal.

« L'eau des fleuves étant bourbeuse, sale, repoussante, on « la laisse reposer dans de grandes jarres pour la faire passer « au feu[1]. »

Cet usage des Chinois mérite toute notre attention; mais je dois dire avant tout qu'Hippocrate[2] avait déjà recommandé cette double opération pour les eaux de pluie.

Gallien indique le même moyen pour purifier les eaux limoneuses et celles qui ont une mauvaise odeur. Toutefois il mentionne encore celui que les Égyptiens mettaient en usage pour améliorer l'eau du Nil et qui consistait à la faire bouillir et passer deux ou trois fois à travers des vases d'argile, puis à

1. Lettre de M. le pasteur Juillard.

2. *Traité des airs, des eaux et des lieux*, édit. Daremberg, p. 202 et note du traducteur, p. 490.

la laisser refroidir pendant la nuit et enfin à la faire bouillir une seconde fois avant de s'en servir.

Il y a une conséquence à tirer de ce qui précède : c'est que si l'eau se débarrasse, par le dépôt, des matières inorganiques en suspension, et peut-être d'une partie des matières organiques, l'eau ainsi reposée et limpide renferme encore des principes nuisibles, autrement on l'emploierait sans s'assujettir à la faire bouillir. Or, ces principes ne paraissent être autre chose que des principes organiques, puisque l'eau conserve de l'odeur après le dépôt, et lorsqu'elle a bouilli, cette odeur a disparu. Comme cette eau non bouillie provoquerait des affections du canal intestinal, il faut admettre que l'ébullition a la propriété d'arrêter l'action des matières organiques altérées et d'empêcher leur transformation ultérieure, au moins pendant un temps assez long.

Il va sans dire que, dans une situation aussi fâcheuse, mieux vaudrait encore utiliser l'eau de pluie en la recevant dans des citernes assez profondément situées sous le sol. L'eau qu'on aurait ainsi serait bonne, et pourrait même acquérir une certaine fraîcheur.

Les Chinois se servent aussi d'eau de pluie dans les pays voisins de la mer, à Pétang par exemple, où le fleuve n'a pas de courant sensible, et où la marée descendante même donn de l'eau salée; ils la reçoivent dans de grandes jarres placées sous les gouttières des toits. Mais sa température doit s'élever alors, et comme cette eau renferme des matières organiques, elle doit s'altérer, et il devient nécessaire de la faire bouillir.

Je résume la discussion précédente :

1° La température de l'eau ne paraît avoir aucune influence sur l'économie, et si l'eau ne renferme pas de matières organiques, on peut habituer l'estomac à la prendre à toute température.

2° Dans chaque pays on s'est accoutumé à boire des eaux dont

la température ne s'écarte pas beaucoup de la température moyenne du lieu; cependant il résulte de circonstances locales que certaines populations ne boivent que de l'eau presque bouillante, tandis que dans d'autres contrées on ne prend que de l'eau très-fraîche comme boisson.

3° On a attribué à l'élévation de la température de l'eau des maladies dont il faut chercher la cause dans l'altération des matières organiques qui y sont contenues; l'élévation de température accélère la décomposition des matières organiques, et en ce sens elle est défavorable. On n'a point encore cherché, pour les diverses matières organiques contenues ordinairement dans les eaux, et pour les températures comprises entre 0° à 30°, les temps après lesquels l'altération développée dans ces matières pourrait avoir des dangers pour l'économie.

Toutefois on peut admettre provisoirement, d'après les résultats fournis par les recherches faites par les micrographes sur la production des infusoires, qu'en laissant une eau potable renfermant ordinairement les matières animales ou végétales contenues dans les eaux et puisée récemment, exposée pendant 12 heures à la température de 10° et à l'abri de la lumière, il ne s'y produira pas de décomposition assez avancée pour agir sur l'économie d'une manière appréciable; il est donc préférable pour ce motif que la température de l'eau ne s'élève jamais en été au-dessus de la température moyenne de chaque lieu, et quand cette moyenne est elle-même assez élevée au-dessus de 10°, il est bon que l'eau puisse être rafraîchie, s'il doit s'écouler un temps assez long entre le moment où on la puise et celui où elle doit servir de boisson.

4° Quand on disposera d'eau de source ou de puits, on fera bien de ne boire que de l'eau qui vient d'être immédiatement puisée, car on sera sûr, quelle que soit la température, que la matière organique non altérée qui peut y entrer n'aura subi aucune décomposition.

5° Les corps de pompe et les tuyaux d'aspiration en bois

doivent être remplacés par les mêmes pièces en fonte. On devra abandonner l'usage des vases en bois, et ne se servir que de vases en grès, en porcelaine, en faïence ou en verre[1].

6° On devra laisser écouler, quand on fera usage d'un puits, quelques litres d'eau avant de recueillir celle qui doit être consommée.

7° Quand on n'a à sa disposition que de l'eau tenant des proportions notables de matières organiques et inorganiques en suspension ou en dissolution, et que sa température est relativement élevée, il faut l'aluner légèrement, la laisser déposer, puis la faire bouillir avant de l'employer dans l'alimentation.

8° Dans ce cas il serait préférable d'utiliser l'eau de pluie recueillie à une certaine distance des grandes villes, qu'on ferait aboutir à des citernes couvertes et assez profondément situées dans le sol, pour que la température de l'eau fût sensiblement la moyenne annuelle du lieu. Si on avait quelques raisons de suspecter l'état des matières organiques qui se trouveraient contenues dans l'eau de certaines citernes ou de certains puits, on la ferait bouillir avant de l'employer.

1. On n'emploiera pas le verre blanc, si on veut éviter l'action de la lumière, à moins qu'il ne soit recouvert de tresses en jonc ou en paille.

CHAPITRE V

Odeur, saveur et limpidité.

L'odeur, la saveur et le défaut de limpidité de l'eau sont des caractères d'une grande importance, parce qu'ils nous permettent de reconnaître sur-le-champ l'altération des eaux et de les écarter sans avoir à faire des recherches plus ou moins délicates sur la nature des principes qui la vicient.

§ 1. Odeur.

J'ai placé l'odeur en première ligne, parce que ce caractère me paraît le plus important. Une eau qui a de l'odeur doit être absolument rejetée. Parmi les substances que nous avons passées en revue et qui peuvent exister dans les eaux potables, il n'y a que l'ammoniaque, l'acide sulfhydrique qui provient accidentellement de la décomposition des sulfures, et certains produits de la décomposition des matières organiques animales et végétales qui soient odorants. L'ammoniaque n'existe pas, il est vrai, en proportion suffisante pour être appréciée par l'odorat, le plus souvent du moins; il en est autrement pour l'acide sulfhydrique et pour les matières organiques altérées.

Or une odeur provenant de l'un quelconque de ces principes doit faire rejeter l'eau d'une manière absolue en raison des dangers évidents qui en résulteraient.

Lorsqu'une eau qu'on se proposerait d'employer comme eau de consommation n'aura pas d'odeur, on pourra la soumettre, pour plus de sécurité, à l'épreuve suivante proposée

par M. Dumas[1]. On l'exposera pendant un mois à une température de 30° environ et par une large surface à l'action de l'air. Si elle ne subit pas de modification dans son aspect, si elle reste parfaitement limpide et sans odeur appréciable, il y aura de fortes présomptions pour qu'elle ne renferme que des quantités insignifiantes de matières organiques, et si la saveur n'accuse rien d'exceptionnel, si l'hydrotimètre donne un degré convenable, cette eau pourra être employée dans l'alimentation.

On peut objecter, avec quelque apparence de raison, à ce qui précède, que l'eau pourrait renfermer des matières organiques altérées non odorantes ou que la décomposition de ces matières pourrait s'y produire sans qu'elle fût accusée d'une manière appréciable par l'odorat ou par le goût et que, dans les deux cas, les produits de l'altération seraient susceptibles néanmoins d'agir plus ou moins énergiquement sur l'économie. Il est possible, sans doute, qu'il en soit ainsi; aussi n'indiquai-je cet essai que pour le cas où on serait dans l'impossibilité d'employer une méthode plus sûre.

§ 2. Saveur.

L'eau potable ne doit avoir aucune saveur caractérisée. Cette conclusion résulte de tout l'ensemble de ce travail; elle ne doit pas avoir la saveur particulière, si intimement liée à l'odeur, qui provient des matières organiques; elle ne doit renfermer les sels de chaux et les sels de magnésie qu'en très-faible quantité, si ce n'est peut-être dans la période d'accroissement; elle ne doit contenir ni nitrates ni sulfates en quantité appréciable. La seule saveur que l'eau potable devrait présenter est celle qu'on pourrait communiquer à de l'eau, distillée dans une cornue en verre, en y introduisant de 20 à 30 centim. cubes d'acide carbonique, 5 centigr. de carbonate de chaux et de magnésie et en la portant à une température de 10° à 15°.

1. *Gazette médicale*, 1862, 3e série, t. XVII, p. 756.

§ 3. Limpidité.

L'eau potable doit être limpide 1° parce que les matières qu'elle tiendrait en suspension, si elle était trouble, donnent lieu, pour leur expulsion du canal intestinal, à un travail superflu; 2° parce que, parmi ces matières, peuvent se trouver des bases qui se dissoudront dans le suc gastrique sans aucune utilité pour la digestion; 3° parce que ces matières peuvent contenir des substances organiques altérées ou non; 4° parce que l'on éprouve en général une répulsion assez forte pour les eaux troubles ou bourbeuses.

Il est évident que les substances en suspension dans l'eau doivent dépendre de la nature des roches sur lesquelles le lit d'un cours d'eau s'est formé depuis le point de départ et aussi de la végétation de ses rives. Le limon du fond lui-même, qui, dans les grandes crues, se mêle à la masse liquide en mouvement, doit dépendre de ces deux éléments.

Des recherches faites par M. Poggiale, du 1er au 23 décembre 1853, ont donné, comme limites des poids des matières en suspension dans l'eau de Seine (dont la hauteur avait varié dans cet intervalle), de 118 à 7 milligr. par litre d'eau[1]. Le limon qui recouvre le lit du cours d'eau doit contribuer pour une proportion assez forte, quoique non déterminée, à ces divers dépôts.

Ce limon a été analysé, pour la Seine, par M. Poggiale, qui y a trouvé :

Carbonate de chaux . . .	60.31
Carbonate de magnésie .	
Silice	35.60
Matières organiques . . .	3.39
	99.30

Il va sans dire que, pour d'autres cours d'eau, comme le Rhône et le Rhin, les proportions des dépôts et leur nature

1. *Recueil de mémoires de médecine militaire*, 2e série, t. XVI, p. 424.

pourront être très-différentes, et pour le même cours, il devra se présenter des variations selon le lieu et aussi selon l'époque de l'année où l'eau est puisée.

Lorsqu'on veut se servir des eaux de fleuve et de rivière pour l'alimentation, on les laisse reposer quand elles sont troubles, ou on les soumet à la filtration.

Je n'ai pas à discuter les avantages et les inconvénients des différents moyens de filtration qui ont été proposés; je me borne à dire que les eaux filtrées devront présenter les qualités que nous avons cherché à mettre en lumière dans ce travail. Nous remarquerons toutefois que leur température doit s'élever pendant l'été à un degré qui peut faire craindre qu'elles ne soient nuisibles, non par cette température même, mais parce que la chaleur qu'elles gagnent favorise la décomposition des matières organiques qui y sont renfermées.

CHAPITRE VI

De l'emploi de l'eau dans l'économie domestique et dans l'industrie.

J'ai peu de chose à dire des eaux employées à l'assainissement des maisons, des rues ou des places publiques; quelle que soit leur composition, pourvu qu'elles soient limpides, elles rempliront leur but.

Je dois néanmoins faire ici une remarque relative à la quantité d'eau totale, moyennement nécessaire par personne et par jour, dans les populations agglomérées.

J'ai dit que l'eau de consommation pouvait être évaluée à 2 litres par jour pour l'adolescent, et j'ai adopté le même nombre pour l'enfant de 10 ans; mais indépendamment de cette eau, il en faut une certaine quantité pour les soins de propreté, pour les bains, pour le blanchiment; j'ajoute qu'il en faut pour nettoyer les maisons, les rues, les égouts, et ce qui est jugé utile au point de vue de l'hygiène surpasse de beaucoup ce qu'on estime convenir à l'alimentation.

On a l'habitude d'en fixer dans les villes, pour l'usage personnel et pour les services publics, le chiffre à 100 litres par jour et par habitant[1], dont 50 litres pour l'usage personnel et 50 litres pour le nettoyage de la voie publique et des égouts. Je dois faire remarquer que ces nombres n'ont rien d'absolu; il est évident que dans les pays chauds où, par la température même, les décompositions des matières organiques sont ren-

1. Certaines villes l'ont élevé notablement : Dijon donne 240 litres, New-York 568 litres et Rome jusqu'à 944 litres par jour et par habitant.

dues plus faciles, la proportion d'eau employée doit être relativement plus élevée que dans les pays froids ou tempérés. Dans tous les pays, d'ailleurs, elle doit varier de l'hiver à l'été et s'accroître en été pour le nettoyage, absolument nécessaire alors, de la voie publique et des égouts.

Je vais passer successivement en revue les divers emplois de l'eau qu'on peut faire dans l'économie domestique ou dans certaines industries.

L'eau qu'on se propose d'adopter pour la préparation des aliments doit présenter les conditions de salubrité indiquées dans les chapitres précédents. On peut se demander, il est vrai, si ces eaux agiront alors sur les matières alimentaires de la manière la plus favorable pour en retirer les principes utiles qu'elles contiennent ou pour les amener à un état qui permette une digestion facile.

Nous allons faire cet examen avec l'attention qu'il mérite.

On sait depuis longtemps que les sels de chaux s'opposent à la cuisson des légumes secs; il importe donc que l'eau soit exempte de sels de chaux.

Les eaux les plus pures sont aussi celles qui conviennent le mieux à la préparation du bouillon. L'eau de Seine, dit M. Payen, convient beaucoup mieux à la préparation du bouillon que l'eau de puits; celle-ci rend la viande plus dure, moins sapide et moins odorante[1].

Pour le thé, des observations du même genre ont été faites; l'eau qui se rapproche le plus de l'eau distillée est celle qui convient le mieux[2]. M. Grellois fait remarquer que les officiers russes attachés aux expéditions du Nord ont trouvé à l'infusion de thé faite avec de l'eau de neige ou de glace un arome

---

1. Payen, *Des substances alimentaires*. Paris, Hachette, 1854, 1 vol. in-12, p. 29. On n'oubliera pas qu'il s'agit ici de l'eau des puits de Paris, très-chargée en sulfate de chaux.

2. *Rapport adressé à M. le Maire d'Angers*, par MM. Houyau et Blavier, ingénieurs. Angers, 1852, p. 40.

agréable que ne lui communiquent pas les eaux ordinaires[1]; on peut ajouter qu'il doit en être de même pour le café. Il importe pour ces deux boissons, dont l'arome et le goût sont, indépendamment des propriétés stimulantes, les qualités essentielles, qu'aucune saveur étrangère ne vienne s'y mêler.

Pour compléter ces observations, j'emprunte à M. Hervé-Mangon le passage suivant sur ce sujet[2]:

« L'action des eaux dures pour la cuisson de la viande et des « légumes est également fâcheuse. Tout le monde sait que cer- « tains légumes, les haricots blancs, par exemple, ne peuvent « pas cuire dans les eaux dures en général et surtout dans « celles où la chaux se trouve unie à l'acide sulfurique. Le « même effet se produit sur tous les légumes; mais il est moins « sensible sur les racines, pommes de terre, navets, carottes, « etc., que sur les graines légumineuses et sur les feuilles, « épinards, chicorée, choux, etc. D'après un grand nombre « d'essais faits par un cuisinier fort habile, M. Soyer, il faut « un tiers de temps de plus pour cuire des légumes avec de « l'eau à 20° de crudité qu'avec des eaux douces marquant 4° « ou 5°. L'action des eaux dures sur la viande est également « très-sensible surtout pour les eaux salées. Elle resserre les « pores au lieu de les ouvrir et diminue l'arome des mets. « L'action des eaux dures sur les opérations culinaires est d'au- « tant plus marquée que l'on opère sur de plus petites quan- « tités, comme on le fait dans les petits ménages.

« Dans les grands établissements, la durée de l'ébullition « adoucit l'eau avant qu'elle arrive au centre des grosses « pièces de viande. Les cuisiniers soigneux et habiles, avant « de les employer à des usages délicats, ne négligent jamais « de faire bouillir longtemps les eaux dures pour les adoucir « par la précipitation de la plus grande partie des sels calcaires.

1. Grellois, *Études hygiéniques sur les eaux potables*, p. 73.

2. Article Eaux du *Complément du Dictionnaire des arts et manufactures*. Paris, Lacroix et Baudry, p. 176 et 177.

« La dureté de l'eau exerce sur la qualité de l'infusion du thé « une action très-fâcheuse et facile à observer.

« L'arome est toujours moindre avec les eaux dures qu'avec « les eaux douces, et il faut employer beaucoup plus de thé « pour obtenir la même force et la même coloration. De très- « faibles quantités de fer rendent également l'eau très-mau- « vaise pour la préparation du thé.

« Les eaux un peu alcalines des puits artésiens se placent « en première ligne pour la préparation de cette boisson; puis « vient l'eau distillée et enfin les eaux calcaires qui sont d'au- « tant moins bonnes que leur degré de crudité est plus élevé.

« Si l'on prend des eaux dont la crudité soit due au carbo- « nate de chaux et marquant respectivement 5°.6, 11°.2, 16°.8, « 22°.4, on reconnaît que la première donne un thé fort lim- « pide et d'excellente qualité. Le thé fait avec la deuxième eau « est encore passable, mais un peu louche. L'eau marquant « 16°.8 donne une infusion sensiblement trouble, et enfin avec « l'eau à 22°.4 la liqueur est complétement trouble et vérita- « blement repoussante. Pour rendre le thé passable, il faut « alors doubler au moins la quantité de feuilles ordinairement « employée.

« A l'hospice de la vieillesse à Bolton, on a plusieurs fois « essayé d'augmenter de moitié la ration du thé et de rempla- « cer l'eau douce par des eaux dures. Les vieilles pension- « naires, sans être prévenues, n'ont jamais manqué de s'en « apercevoir et de se plaindre au directeur de la diminution de « force de leur thé.

« Il est remarquable d'ailleurs que les eaux crues font mal « la première infusion et plus mal encore la seconde. Quand on « ne dispose que de mauvaises eaux, il faut donc soigneuse- « ment éviter d'échauder le thé comme le font habituellement « certaines personnes délicates.

« Ces inconvénients sont encore plus sensibles avec les eaux « qui renferment du sulfate ou du nitrate de chaux.

« La fabrication du pain et surtout celle de la bière souffrent « beaucoup de l'emploi des eaux dures.

« On cite des brasseries obligées de suspendre leur fabrica- « tion pendant l'interruption de distribution d'eaux douces et « leur remplacement par les eaux dures. »

Je dois faire remarquer qu'en ce qui concerne le thé et le café, une opinion contraire à celle que j'ai exposée a été soutenue récemment[1] : on a prétendu que du café, préparé avec de l'eau, marquant 45° hydrotimétriques, étant plus foncé en couleur, plus fort au goût, plus *aromatique*, plus chargé de matière extractive que celui obtenu avec de l'eau distillée, devait être préféré à ce dernier.

J'ai dit plus haut que l'arome et le goût étaient les qualités essentielles du café et du thé; on sait, pour l'un comme pour l'autre, qu'après en avoir enlevé l'huile essentielle soluble et une partie des matières extractives, on peut leur enlever une nouvelle portion de ces principes par une autre infusion; mais cette dernière est amère et sans parfum.

Qu'une infusion suffisamment prolongée à chaud ou à froid, avec une eau calcaire, donne un poids total de matières extractives plus fort que l'eau distillée, le résultat me séduit peu, parce que ce que l'on apprécie surtout dans le café et dans le thé, c'est leur huile essentielle soluble.

Qu'on me permette de citer à l'appui de l'opinion générale une autorité que personne ne récusera, M. Payen[2] : « Les pre- « mières parties de cette infusion que l'on emploie (il s'agit ici « du thé; mais les mêmes observations peuvent s'appliquer au « café) sont plus aromatiques, moins colorées et moins astrin- « gentes que celles obtenues après une macération plus longue « de 10 à 20 minutes, par exemple. L'astringence augmente « relativement aux autres éléments de la saveur, lorsque, après

1. *Hydrographie médicale de Strasbourg*, p. 184 et suivantes.
2. Payen, *Des substances alimentaires*, p. 274.

« avoir décanté tout le liquide libre, on verse sur le résidu des « feuilles une nouvelle dose d'eau bouillante, ordinairement « moins forte que la première.

« Si l'on soumettait le mélange d'eau et de thé à l'ébullition, « l'astringence, le goût amer et une odeur de foin se prononceraient davantage à mesure que l'arome délicat, le premier « parfum si doux disparaîtrait et cesserait de provoquer l'appétit. »

Ce n'est donc pas le poids plus ou moins grand de principes extractifs qu'il faut rechercher dans le thé ou le café; ce n'est ni l'astringence qu'on confond souvent avec la force, ni la couleur, mais l'arome, le goût et la transparence.

Or, avec l'eau distillée, l'expérience[1] montre qu'on obtient un café et un thé plus clairs et d'un arome plus délicat; on peut donc dire en général que les eaux les plus pures sont les meilleures à employer pour ces deux boissons.

Quant à la fabrication de la bière, les auteurs des traités sur la matière ne paraissent pas fixés sur les qualités des eaux qui doivent être employées. Mulder, l'un des plus autorisés, admet[2] « que, pour le maltage, il paraît préférable d'employer « une eau douce, mais que, pour l'empâtage, une eau calcaire

1. L'essai que j'ai fait, l'a été dans les conditions suivantes : quatre personnes réunies, dont je faisais partie, ont reçu, chacune, deux tasses de café, l'une, préparée avec l'eau de mon puits, marquant 25° à l'hydrotimètre et l'autre avec de l'eau distillée; le café employé dans les deux cas était de même poids et de même qualité. Il était convenu que nous ne nous communiquerions pas nos impressions, mais que nous les transcririons séparément. J'ignorais moi-même avec quelle eau mes deux tasses avaient été préparées.

L'épreuve faite, je constatai que, sans influence, comme sans idée préconçue, nous étions tous d'accord sur ces deux points : Le café préparé à l'eau distillée est d'un arome plus délicat; il est plus clair.

J'ajoute que je tiens de Mme Charles Gerhardt, que nos deux éminents chimistes, Gerhardt et Laurent, prenaient souvent, au laboratoire de la Monnaie, leur café préparé à l'eau distillée.

2. *De la bière*, par Mulder, traduit par Delondre, Paris, 1861, J. B. Baillière, 1 vol. in-12, p. 84 et 85.

« ne paraît pas être nuisible, ainsi que l'expérience l'a fait voir. » Toutefois, en admettant l'utilité du bicarbonate de chaux, il conteste celle du sulfate de chaux, et il ajoute :

« Le goût du consommateur demande souvent une bière « qui ait telle ou telle propriété déterminée, en sorte que, « dans quelques cas, ce qui devrait être rejeté au point de vue « de l'utilité, doit être recherché pour satisfaire au goût du « consommateur. On ne peut donc recommander exclusivement « aucune espèce d'eau en particulier comme devant être em- « ployée de préférence pour la préparation d'une très-bonne « bière. Si l'on veut qu'il passe dans la bière une partie aussi « grande que possible des parties constituantes nutritives du « grain, on doit employer de préférence la plus pure des eaux « ordinaires, l'eau de pluie. »

Nous devons ajouter qu'à Strasbourg, qui a une réputation si connue pour la fabrication de sa bière, bon nombre de brasseurs, dont les eaux de puits marquaient de 20° à 30° hydrotimétriques, ont fait forer leurs puits plus profondément et de manière à obtenir de 16° à 20° hydrotimétriques, c'est-à-dire qu'ils se sont procuré des eaux moins calcaires.

L'eau dont on se sert pour le blanchiment doit renfermer le moins de chaux possible pour éviter la perte inutile de savon qui résulterait de l'union des acides gras avec la chaux et le dépôt des sels ainsi formés sur le linge.

Il est inutile de faire remarquer que pour les savonneries, il sera indispensable d'employer les eaux les plus pures. Nous venons d'en indiquer le motif.

La même observation s'applique aux fabriques de produits chimiques.

Je n'insiste pas davantage sur l'usage de l'eau pour les chaudières de machines à vapeur; il est généralement admis et incontestable que les eaux les plus pures sont celles qui conviennent le mieux pour éviter les boues ou les dépôts solides qui se forment dans les chaudières ou dans les bouilleurs.

Pour ce qui concerne la tannerie, il importe de remplir deux conditions : la première, d'employer les eaux les plus pures pour éviter les combinaisons du tannin avec la chaux ou la magnésie; il n'y a d'exception que pour les cuirs forts qui peuvent s'accommoder d'eaux calcaires; la seconde, de se servir d'eaux dont la température diffère peu de 10° qui, l'été, convient mieux pour la mise en fosse. Ces deux conditions sont remplies dans les villes ou les villages situés au pied des Vosges où les eaux sont généralement pures et présentent une température qui, en été, ne s'élève guère au-dessus de 12°.

A Strasbourg, on emploie généralement l'eau de l'Ill comme plus pure que l'eau des puits; on ne fait d'exception à cette règle qu'en été où on préfère l'eau de puits pour sa fraîcheur[1].

J'arrive à l'emploi de l'eau dans la teinture.

Berthollet avait dit[2] : « Lorsqu'une eau est claire, qu'elle se « renouvelle, qu'elle n'a point de saveur sensible et qu'elle « dissout bien le savon, on peut la regarder comme très-propre « aux teintures. »

Dupasquier, en 1840, à une époque où on débattait, à Lyon, la question de savoir s'il convenait, pour une distribution d'eau, d'accorder la préférence aux eaux de source ou aux eaux de rivière, après une étude comparée des eaux des sources de Roye, de Ronzier, de Fontaine et de Neuville, d'une part, et des eaux du Rhône et de la Saône, de l'autre, s'était décidément prononcé pour les eaux de sources notablement plus calcaires que les eaux du Rhône et de la Saône, puisqu'elles marquent de 25° à 28° hydrotimétriques, tandis que les eaux du Rhône et de la Saône marquent de 13° à 15°[3]; ayant fait quelques expériences de laboratoire sur les diverses couleurs employées dans la teinture et consulté les teinturiers

1. Observations de M. Ott, ancien tanneur.
2. *Éléments de l'art de la teinture*, p. 461.
3. Celles de la Compagnie des eaux marquent 16°,75.

de Lyon sur l'influence que les sels calcaires peuvent avoir sur les couleurs, il concluait en ces termes :

« Ces sels[1] avivent généralement l'intensité des couleurs, en « fonçant les nuances, sans altérer leur fraîcheur et leur éclat. « Cette action est tellement appréciée par ces industriels, qu'à « Lyon ils placent, autant que possible, leurs établissements « dans des quartiers où se trouvent des eaux de source. Leur « opinion est qu'ils en obtiennent de plus belles couleurs avec « une économie notable dans la quantité des matières tincto- « riales. Aussi font-ils grand cas, pour les nuances claires « particulièrement, des eaux calcaires, même de celles dont « ils ne peuvent faire usage pour le décrusage de la soie. Les « teinturiers en noir n'ont pas remarqué de différence entre « l'emploi des eaux de source et des eaux de rivière. Ils pré- « fèrent seulement ces dernières pour le décrusage. »

Quelques pages plus loin[2], résumant l'examen qu'il vient de faire de l'emploi des eaux dans l'industrie, Dupasquier ajoute : « Il résulte de ce qui précède qu'une eau, pour être « employée avec tous les avantages désirables aux travaux de « l'industrie et particulièrement au blanchiment, à la teinture « et à l'impression sur étoffes, doit être limpide en tout temps, « doit avoir une température et une composition constantes, « doit dissoudre parfaitement le savon, s'il s'agit du blanchi- « ment. Il est aussi utile, s'il n'est pas absolument indispen- « sable, qu'elle contienne une quantité suffisante de sels « calcaires pour obtenir des blancs plus parfaits sur soie, « pour aviver les couleurs et économiser les matières tincto- « riales, s'il s'agit spécialement de la teinture.

« Elle doit, enfin, avoir été éprouvée ou par l'usage ou du « moins par des expériences faites avec les principales sub- « stances colorantes. »

---

1. Dupasquier, *Des eaux de source*, etc., p. 110.
2. P. 114.

Je dois avouer que tout en admettant quelques-unes des conclusions de Dupasquier, je fus embarrassé de concilier son opinion sur l'utilité des sels calcaires pour la teinture avec ce fait que tous les grands établissements industriels de l'Alsace, placés au pied ou à peu de distance des Vosges, n'avaient le plus souvent à leur disposition, pour leurs opérations de teinture, que de l'eau très-pure, très-peu chargée de sels calcaires. Il fallait donc ou que ces eaux convinssent aux bains de teinture, et alors l'opinion de Dupasquier devait être considérée comme trop exclusive, ou que l'on introduisît de la chaux ou des sels de chaux dans ces eaux pour leur donner les qualités qui leur manquaient.

Je me suis adressé, pour avoir la solution de cette question, si importante pour l'une des principales industries de l'Alsace, au savant directeur de l'École supérieure des sciences appliquées de Mulhouse, M. le docteur Penot, et à un manufacturier distingué de Sainte-Marie-aux-Mines, M. Adolphe Lesslin.

Je ne puis mieux faire que de citer textuellement les réponses que j'ai reçues.

« Dans presque tous les cas, dit M. Penot[1], les eaux les « plus pures sont préférables; c'est ce qui a fait établir toutes « les fabriques d'indiennes de cette ville sur les bords d'un « canal dérivé de la Doller, rivière qui descend des Vosges « et dont les eaux ne contiennent que quelques très-faibles « traces de matières étrangères, tout à fait sans action sur les « couleurs même les plus délicates.

« Les eaux de l'Ill, au contraire, comme les eaux de nos « puits, renferment des proportions variables, mais assez fortes « de sulfate et de bicarbonate de chaux, généralement nui- « sibles aux teintures. Ainsi les sels calcaires rendent les cou- « leurs orangées plus jaunes et font virer au violet les rouges

[1]. Il s'agit ici des diverses industries de Mulhouse.

« de garance, de cochenille et de bois de fernambouc. La « chaux nuit aux couleurs tendres, comme rouges faibles, « roses, etc.

« Cependant des eaux chargées de chaux ne sont pas tou- « jours nuisibles. Lorsque, par exemple, on teint avec des « dérivés un peu acides de la garance, il faut ajouter de la « craie au bain pour neutraliser l'acide.

« On peut donc faire usage, dans ce cas, d'une eau cal- « caire qui paraît être aussi plus utile que nuisible à la fabri- « cation de l'orseille.

« Des fabriques d'indiennes qui n'avaient pas à leur disposi- « tion des eaux convenables, c'est-à-dire pures, ont employé « différents moyens pour purifier celles dont elles devaient se « servir :

« 1° L'acide oxalique, en proportion qui varie avec la nature « de l'eau ;

« 2° De l'eau de chaux qui convertit le bicarbonate en car- « bonate neutre. Le blanc de Troyes qu'on retire alors, couvre « la dépense et au delà, mais le sulfate de chaux reste encore.

« Bien entendu qu'avec chacune de ces deux méthodes, il « faut éviter un excès de précipitant qui deviendrait fort nui- « sible. »

M. Adolphe Lesslin m'écrit : « Les eaux des vallons de « Saint-Philippe et de Fertru tenant en dissolution des sels « de chaux et de fer sont tout à fait contraires à la teinture « du rouge d'Andrinople et au blanchiment des calicots; pour « les autres couleurs elles sont passables, mais ne valent pas « les eaux de la Lièpvrette[1].

« L'eau de notre rivière est pure et donne à nos couleurs « un éclat des plus remarquables. Vous savez que l'on cite les « tissus de Sainte-Marie pour la vivacité de leurs couleurs. »

---

1. Petite rivière qui traverse Sainte-Marie, et dont le degré hydrotimétrique est égal à 6°.

J'ajoute qu'un chimiste, à qui l'industrie doit tant de travaux importants, M. J. Girardin, après une étude des eaux de la Lys, qu'il était question d'amener à Turcoing et à Roubaix, conclut, de ses recherches, que ces eaux sont beaucoup plus pures que celles du canal et des puits de Roubaix, et que, pour la teinture sur laine et sur coton, elles sont bien préférables à ces dernières[1].

Il me sera permis, d'après ces déclarations, d'admettre que, pour les teintures, les eaux les plus pures chimiquement sont ordinairement les meilleures[2].

En résumant les résultats auxquels je suis arrivé dans ce chapitre, je dirai :

1° Que pour les diverses opérations auxquelles on soumet les eaux destinées à l'alimentation, ce sont les plus pures qui conviennent le mieux ;

2° Qu'au point de vue industriel, si la condition de l'absence des matières organiques n'est plus aussi indispensable, ce sont néanmoins encore les eaux qui renferment le moins de matières inorganiques qui devront être préférées le plus souvent.

---

1. *Mémoires de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, 1862, 2e série, t. IX, p. 289.

2. On trouvera, au surplus, dans l'important *Traité de l'impression des tissus*, de M. Persoz, tous les détails que comporte la question.

CONCLUSIONS

Arrivé à la fin de ce travail, je crois pouvoir en formuler les conclusions dans les termes suivants :

1° La première et la plus importante des conditions qu'une eau potable doit remplir est, de ne renfermer aucune matière organique, végétale ou animale, altérée ou non.

2° Relativement à la chaux, il faut distinguer deux périodes : 1) celle d'accroissement ; 2) celle où le développement est terminé.

Pour la première, j'admets que le minimum de chaux qui, de 10 à 12 ans, doit pénétrer, chaque jour, dans le corps humain avec l'eau et les aliments, est de 8 décigr. Si les aliments ingérés ne le fournissent pas, l'eau devra donner le complément.

Pour la seconde, les eaux les plus pures devront être préférées.

3° Il est inutile de rechercher dans les eaux la magnésie, la potasse, la soude, les oxydes de fer et de manganèse, ainsi que les acides phosphorique et chlorhydrique.

4° En attendant qu'on ait une méthode certaine pour la détermination des matières organiques et de leurs degrés d'altération, l'analyse devra rechercher dans les eaux l'ammoniaque et l'acide azotique, qui fourniront des indices précieux sur les matières azotées déjà décomposées qui pourront s'y trouver.

5° Il importe qu'il n'y ait pas d'acide sulfurique dans les eaux, pendant la période d'accroissement surtout.

6° L'eau ne doit renfermer ni alumine, ni silice.

7° L'acide carbonique est utile à la digestion.

8° L'air en dissolution dans l'eau *paraît* favoriser la digestion.

9° Il n'est pas démontré que l'absence de l'iode dans les eaux soit une des causes du goître.

10° La température de l'eau ne paraît avoir aucune influence sur l'économie.

On s'est habitué dans presque tous les pays à des eaux qui, prises comme boisson, ont une température qui ne s'écarte pas beaucoup de la température moyenne du pays.

On a attribué à l'élévation de la température des eaux bues pendant l'été, des maladies dont il faut rechercher la cause dans l'altération des matières organiques qui y sont contenues.

11° Pour que cette altération ait moins de chances de se produire, il importe, si l'eau doit être conservée pendant plusieurs heures avant d'être employée, qu'elle garde, en été, une température qui dépasse peu 10°.

12° Il est préférable de ne prendre comme boisson que de l'eau qui vient d'être puisée.

13° Une eau qui a de l'odeur, de la saveur, ou qui n'est point limpide, ne doit pas être employée comme eau potable.

14° Quand on ne peut disposer que d'eau trouble et tenant des matières organiques en suspension, on doit l'aluner légèrement, la laisser déposer, puis la faire bouillir.

15° L'eau la plus pure convient le mieux pour les divers emplois qu'on peut en faire dans l'alimentation.

16° L'eau la plus pure convient le mieux à la plupart des industries.

17° L'eau de pluie recueillie à une certaine distance des villes et introduite dans des citernes situées assez profondément dans le sol et bien entretenues, peut être une eau potable.

Quand, pour l'établissement d'une distribution d'eau dans une ville, on aura le choix entre plusieurs eaux, on pourra consulter les conclusions que je viens de formuler. Les qualités qu'elles concernent sont d'importance très-différente; j'ai lieu d'espérer qu'on verra ressortir de cette étude la valeur

relative de chacune d'elles et qu'on s'attachera dans les discussions sur le choix des eaux, non pas à s'opposer tel ou tel caractère secondaire, mais à les comparer au point de vue de leurs caractères essentiels.

Si j'ai dû énoncer quelques propositions négatives, c'est pour combattre certaines opinions qui ont cours en hydrologie, malgré les faits qui leur sont contraires.

Je terminerai ce travail en appliquant les règles qui précèdent à un projet de distribution d'eaux à Strasbourg.

Ce sont les puits qui fournissent l'eau de consommation à cette ville. Il y a une distinction à faire entre eux; les uns sont assez bons: ce sont les puits forés; les autres sont passables ou médiocres: ce sont les puits ordinaires qui sont en grande majorité.

L'eau des puits forés a une température peu différente de 11°, marque de 16° à 17° hydrotimétriques et présente une proportion de matières organiques très-faible; mais elle renferme une proportion insuffisante d'oxygène et d'acide carbonique.

Les puits ordinaires donnent une eau dont la température diffère peu de 11°, dont le degré hydrotimétrique varie de 20° à 50°, dont la proportion de matières organiques est variable, mais assez forte en général, dont les proportions d'oxygène et d'acide carbonique, tout en étant plus grandes que celles des puits forés, sont inférieures cependant aux proportions normales de ces gaz dans une bonne eau potable.

J'ajoute qu'à l'époque des grandes crues ou des basses eaux de l'Ill, les riverains, et ils sont nombreux, ont souvent l'eau de leurs puits troublée ou souillée.

L'eau de la nappe souterraine, prise en un point convenablement choisi, présenterait les mêmes caractères que l'eau des puits forés, et, par conséquent, les mêmes avantages et les mêmes inconvénients.

Il y a, dans les Vosges, des sources dont la température est

de 10° à 11°, dont le degré hydrotimétrique est compris entre 5° et 10°, dont la proportion de matières organiques est très-faible, dont les proportions d'oxygène et d'acide carbonique n'ont pas été déterminées à ma connaissance, mais sont probablement analogues à celles des puits forés.

Écartant de suite l'eau des puits ordinaires, qu'on a souvent lieu de suspecter, il semble, au premier abord, qu'il soit indifférent d'employer les eaux de source, celles de la nappe souterraine ou celles des puits forés. Mais indépendamment de la qualité, il faut tenir compte de la quantité de l'eau au point de vue de la salubrité.

La propreté d'une maison, à ses divers étages, dépend de la facilité avec laquelle l'eau y arrive; sous ce rapport, les puits laissent fort à désirer.

Il est un deuxième point qui doit appeler l'attention. C'est surtout en été que les maladies putrides se manifestent; pour les éviter, il importe qu'on ne se borne pas à des arrosements de la voie publique, mais qu'on procède par des chasses fréquentes au nettoyage des rigoles et des égouts d'où s'échappent continuellement des principes qui, provenant de la décomposition des matières organiques, vicient l'air et constituent un danger permanent.

Or, pour obtenir ce résultat, il faut qu'on ne compte pas avec l'eau.

Ce ne sera ni avec l'eau de puits, ni avec l'eau d'arrosement qu'on atteindra le but; ce ne peut être qu'avec une distribution d'eau. Cette distribution obtenue, on peut être sûr que le chiffre de la mortalité diminuera.

Si on adopte cette opinion, l'eau des puits forés étant jugée insuffisante au point de vue de l'hygiène, il resterait à savoir si, pour une distribution, l'on devrait accorder la préférence à l'eau des sources ou à celle de la nappe souterraine.

Les eaux de la nappe souterraine renferment très-peu de matières organiques, plus de sels de chaux et peu d'air; celles

Pages.
Consommation d'un enfant à la mamelle 38
— d'un petit campagnard des Vosges 38
— d'un élève du Lycée de Strasbourg 39
— d'un enfant de l'hospice des orphelins 39
— d'un enfant de l'asile des orphelins du Willerhof. . 40
— d'un enfant de la colonie d'Ostwald 41
— d'un enfant de l'établissement charitable du Neuhof. 42
Poids de chaux contenue dans l'alimentation 43
Conclusions 46
Méthode hydrotimétrique de MM. Boutron et Boudet 47
Tableau hydrotimétrique de diverses eaux 53
Observations de MM. Daubrée et Lornier sur la possibilité d'améliorer l'eau de certains puits en les approfondissant 60
Tableau des poids de chaux contenue dans diverses eaux 61
§ 2. Magnésie. Sa proportion dans le tissu osseux 63
Sa proportion dans le lait, le froment 64
Elle est sans influence sur le développement du goître 65
§ 3. Potasse, soude. 66
§ 4. Ammoniaque. 67
§ 5. Alumine, oxydes de fer et de manganèse 70
Acides. § 6. Acide sulfurique 70
Son existence dans les os des rachitiques. 71
Inconvénient de la décomposition des sulfates par les matières organiques 72
Tableau de son poids dans diverses eaux. 72
§ 7. Acide azotique. Observations de M. Boussingault. 75
Tableau de son poids dans diverses eaux 76
§ 8. Acide chlorhydrique. 80
§ 9. Acide phosphorique 82
§ 10. Acide carbonique. 83
Composition de l'air de l'eau distillée 85
Utilité du bicarbonate de soude dans l'eau distillée consommée en mer. 85
§ 11. Acide silicique 86
§ 12. Fluor. Recherches de M. Nicklès 87
Iode et brôme 88
Il n'est pas démontré qu'une trop faible proportion d'iode dans l'air, dans l'eau et dans les aliments soit une des causes du goître. 89

Pages

CHAPITRE III. — DE L'AIR EN DISSOLUTION DANS L'EAU 93
Opinion de Dupasquier 93
Opinion de M. Bouchardat 95
Discussion relative aux cas suivants 98
1° Eaux renfermant de faibles quantités de matières organiques et dont la température est élevée 99
2° Boissons alcooliques. Analyse des gaz contenus dans le vin et dans la bière 100
3° Eaux potables 102
Tableau des volumes de gaz en dissolution 103
4° Eau provenant de glace ou de neige fondue 106
Composition de l'air qui s'y trouve dissous 107
Consommation de cette eau 109
5° Eau ordinaire non aérée; consommation 110
Introduction d'acide carbonique dans cette eau 111
6° Eau distillée non aérée; consommation 111
Conclusions 112

CHAPITRE IV. — TEMPÉRATURE 114
§ 1er. Eau des fleuves et des rivières 114
Tableau des températures du Rhin, de l'Ill et de l'air 115
— du Rhône, de la Saône et de l'air . . . 116
— du Rhône, a 3 heures de l'après-midi . 117
— de la Seine 118
— de la Moselle 119
§ 2. Eau des sources 119
Sources des environs de Lyon 120
Source du Rosoir à Messigny (Côte-d'Or) 120
Tableau des temperatures de l'eau du réservoir de la source précédente, des bornes-fontaines et de l'air à Dijon 121
Tableau des températures de l'eau d'un grand nombre de sources du département du Bas-Rhin 122
Température de l'eau des aqueducs et de quelques sources de Rome 125
§ 3. Température de l'eau des lacs 126
§ 4. Temperature de l'eau des puits 127
Premier tableau 128
Deuxième tableau 129
Tableau des températures moyennes de l'eau des puits de diverses villes sur les bords du Rhin 130

Pages.

Tableau des températures du Rhône, des galeries filtrantes établies dans son voisinage et des réservoirs 130
§ 5. Eau de pluie. 131
De la température la plus convenable à l'eau quand on l'emploie comme boisson 133
Conclusions 139
CHAPITRE V. — § 1er. Odeur 142
§ 2. Saveur 143
§ 3. Limpidité. 144
CHAPITRE VI. — De l'emploi de l'eau dans l'économie domestique et dans l'industrie 146
Volume d'eau par jour et par individu 146
Bouillon, légumes, viande, thé, café, bière 147
Blanchiment, savonneries, fabriques de produits chimiques, chaudières à vapeur, tanneries 152
Teintures 153
Conclusions générales 158
Application à une distribution d'eau à Strasbourg 160
Table des matières 163

FIN.

64

TA 418.42 .H83 1864 C.1
Recherches experimentales sur
Stanford University Libraries
3 6105 030 443 563

DATE DUE

TIMOSHENKO COLLECTION
IN HOUSE USE ONLY

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004